

NOVA

3

VWO | GYMNASIUM

LEEROPDRACHTENBOEK

NATUURKUNDE

MAX METHODE NATUURKUNDE

NAAM:

KLAS:

MALMBERG



NATUURKUNDE

3 VWO | GYMNASIUM

Auteurs

F. Alkemade

L. Lenders

F. Molin

R. Tromp

Eindredactie

P. Verhagen

Met medewerking van

Th. Smits

Vierde editie

MALMBERG 's-Hertogenbosch

www.nova-malmberg.nl

Voorwoord

Nova bestaat uit een leeropdrachtenboek, digitaal materiaal en een uitwerkingenboek.

In het leeropdrachtenboek vind je alle leerstof die je moet leren. Na elke paragraaf staan opgaven die je helpen om de leerstof te onthouden en toe te passen.

Elk hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal proeven (practica) en Test-Jezelfvragen. Bovendien worden achter in het boek de specifieke vaardigheden uitgelegd die je bij het vak natuurkunde nodig hebt.

Basisstof, plusstof en praktijk
De meeste leerstof in het boek werk je samen met de hele klas door. Dit is de basisstof die alle leerlingen moeten kennen. Sommige opgaven zijn pittig. Die zijn met een * gemarkeerd.

Andere opgaven zijn gemarkeerd met een Dit zijn opgaven uit de Internationale Junior Science Olympiade.

Aan het einde van elke paragraaf staat plusstof. Vaak is de plusstof iets moeilijker dan de basisstof.

Aan het einde van elk hoofdstuk staat het onderdeel Praktijk: een artikel waarin een deel van de leerstof wordt besproken aan de hand van een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap. Bij dit artikel staan ook enkele opgaven.

Zelfstandig werken
Met *Nova* kun je goed zelfstandig werken. Je kunt alleen of met een groepje opgaven maken, onderzoek doen of jezelf testen met de Test-Jezelfvragen. Je zult ook af en toe uitleg krijgen met de hele klas.

Als je zelfstandig werkt, is het handig om een planning te maken. Dat betekent dat je van tevoren opschrijft wat je gaat doen en wanneer.

Natuur- en scheikunde gaat over de wereld om je heen. Het is boeiend en spannend om die wereld te ontdekken. We hopen dat dit boek je daar een handje bij kan helpen.

Veel succes!

De auteurs

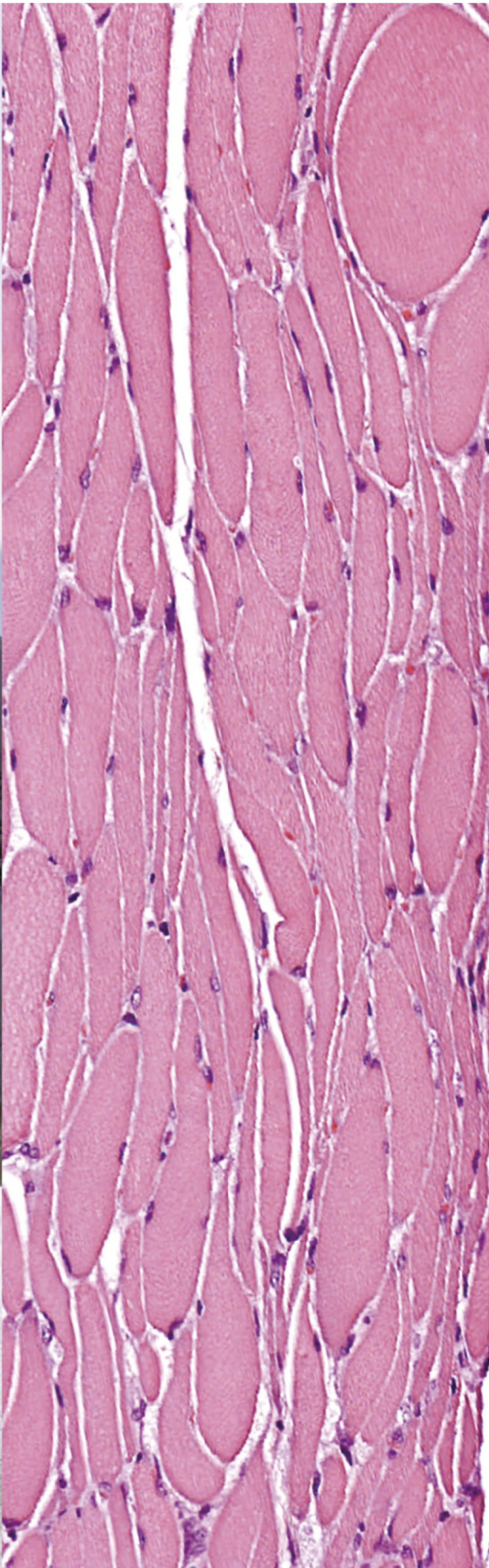
Inhoudsopgave

5 Kracht en beweging | De wetten van Newton

6 Schakelingen | Automatisch regelen

7 Radioactiviteit | Werken met ioniserende straling



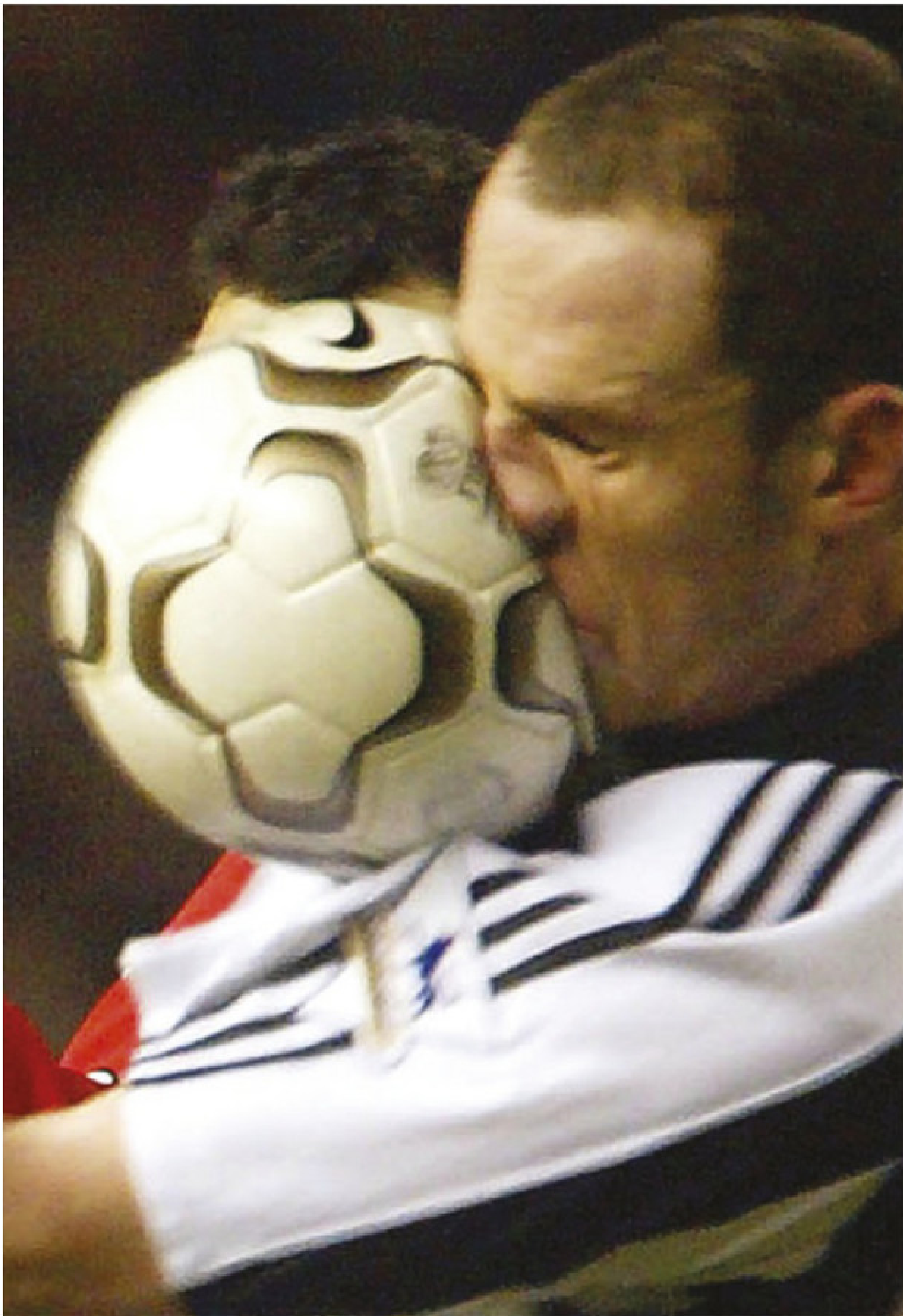


1 Krachten

Krachten in natuur en techniek

Krachten zijn in de natuur en in de samenleving onmisbaar. Door de zwaartekracht groeien bomen en planten omhoog. Dieren en mensen bewegen zich voort door krachten. Krachten laten auto's rijden, vliegtuigen vliegen en de wind waaien. Ze laten de dynamo's draaien die elektrische energie leveren.

1 Krachten om je heen



▲ figuur 1
De bal vervormt elastisch, voor de speler is dat niet zeker.

Bij alles wat je doet, spelen krachten een rol. Of je nu een voetbal wegschopt, een kraan opendraait, een toets indrukt of een hap brood neemt: je spieren moeten er een kracht voor uitoefenen. Ook in de techniek spelen krachten een belangrijke rol.

Krachten herkennen

Als er een kracht op je lichaam wordt uitgeoefend, bijvoorbeeld als iemand je een duw geeft, voel je dat. Maar meestal kun je de krachten zelf niet zien of voelen. Meestal zie je iets veranderen, waardoor je tot de conclusie komt dat er kennelijk een kracht heeft gewerkt.
Krachten kunnen de **beweging** van een voorwerp veranderen. Bij een volleybalwedstrijd neemt de snelheid van de bal toe als een speler de bal smasht. De snelheid neemt af als een speler een bal 'stopt'. Ook de richting van de bal verandert voortdurend.
Krachten kunnen ook de **vorm** van een voorwerp veranderen. Een vervorming kan **elastisch** (van het Griekse *elastos* = 'rekbaar') of **plastisch** (van het Griekse *plasma* = 'boetseerwerk') zijn. Bij een elastische vervorming krijgt het voorwerp zijn oorspronkelijke vorm weer terug als de kracht wegvalt. Dat zie je bijvoorbeeld als je een elastiekje uitrekt en weer loslaat. Bij balsporten vervormt de bal elastisch bij elk balcontact, al kun je dat niet altijd met het blote oog zien (figuur 1). Bij een plastische vervorming komt het voorwerp niet meer terug in zijn oorspronkelijke vorm, bijvoorbeeld bij een autobotsing.

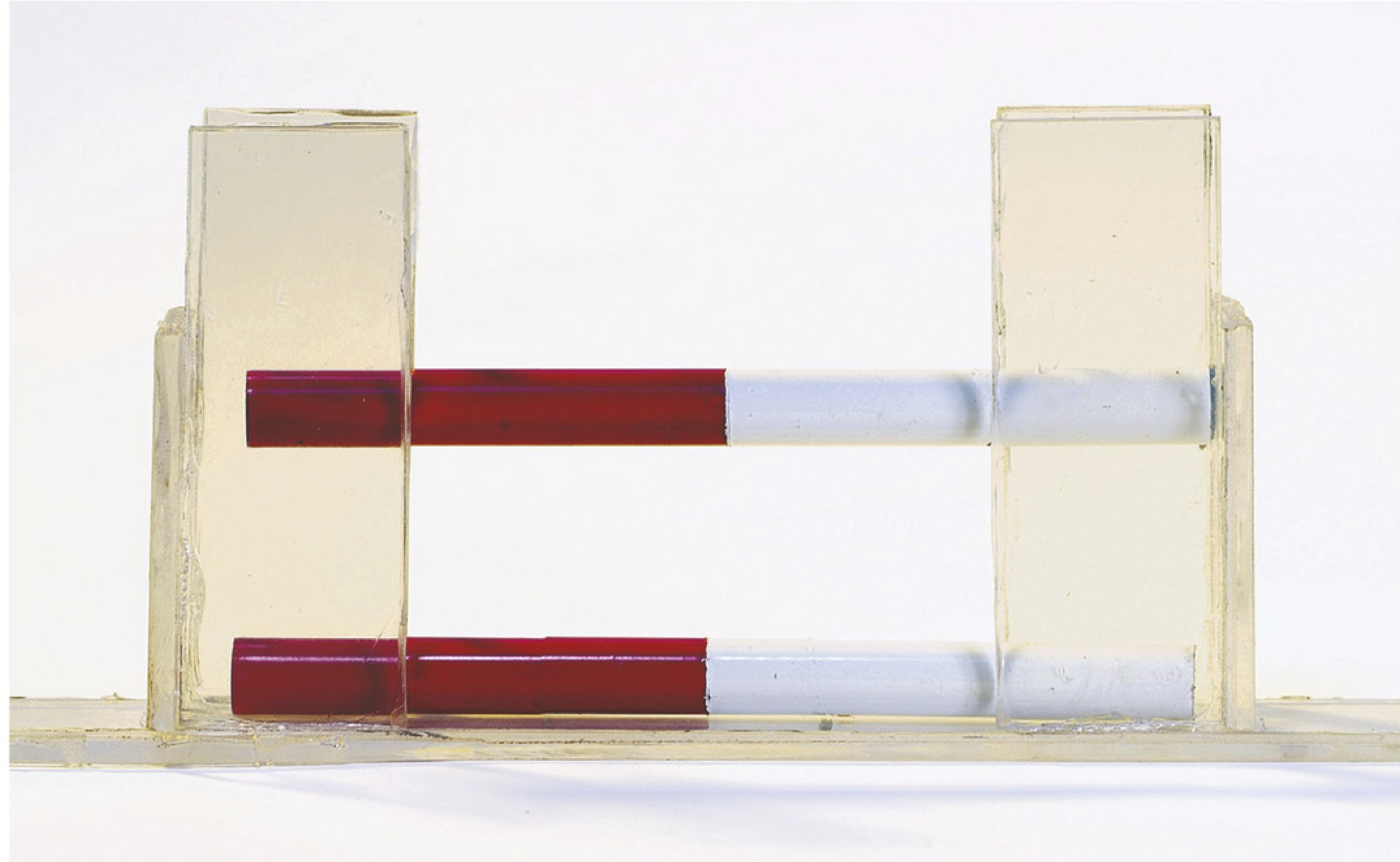
Soorten krachten

Het symbool voor kracht is de letter *F* (van het Engelse *force*).
Er zijn allerlei soorten krachten:
- **Spierkracht** (F_{spier}) ontstaat doordat de spieren in je lichaam zich samentrekken.
- **Veerkracht** (F_v) ontstaat als je een veerkrachtig materiaal uitrekt of indrukt (figuur 2).
- **Spankracht** (F_{span}) ontstaat als er aan een touw of een kabel wordt getrokken.
- **Kleefkracht** (F_{kleef}) ontstaat als twee voorwerpen aan elkaar plakken.
- Als je een voorwerp loslaat, valt het recht naar beneden. Dat is het effect van de **zwaartekracht** (F_z), de kracht waarmee de aarde trekt aan alles om de aarde heen. Het is ook de kracht waarmee de zon de aarde aantrekt en in zijn baan houdt.

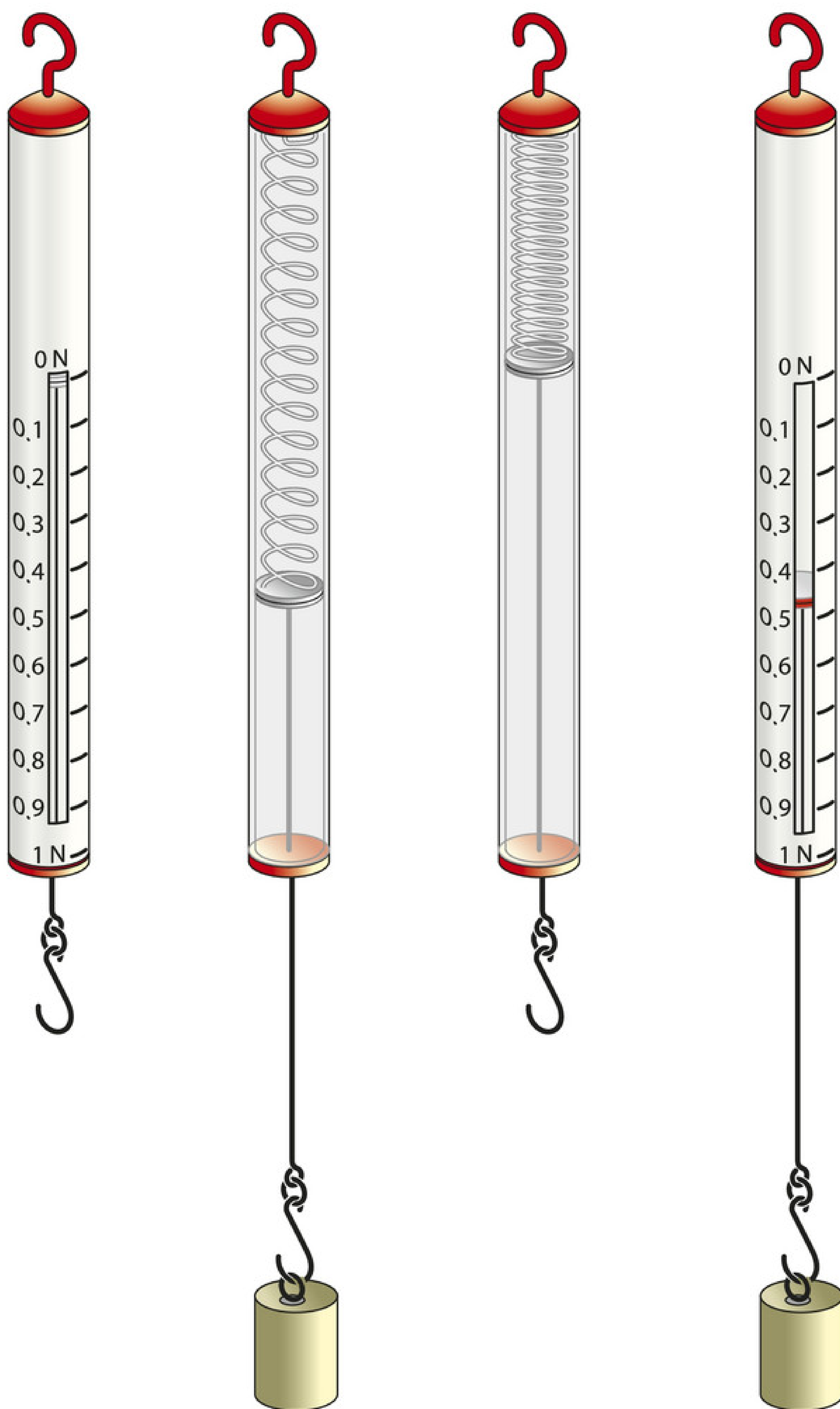
▼ figuur 2
Met een expander voel je de veerkracht.



- Als je twee magneten bij elkaar houdt, voel je de **magnetische kracht** tussen de polen. Een noordpool en een zuidpool trekken elkaar aan, maar twee gelijke polen stoten elkaar af (figuur 3).
- Als je fietst, voel je de tegenwerking van de lucht, zeker bij tegenwind. Dat is de **luchtwrijving**. De wrijvingskracht die de banden ondervinden van het wegdek, noem je de **rolwrijving**. Samen vormen ze de **wrijvingskracht** (F_w).



▶ **figuur 3**
Magnetische kracht: de twee magneten stoten elkaar af.



▲ **figuur 4**
Zo werkt een krachtmeter.

Krachten meten

Krachten kun je meten met een **krachtmeter**. In zo'n krachtmeter zit een spiraalveer. Hoe groter de kracht waarmee aan de krachtmeter wordt getrokken, des te verder rekt de veer uit (figuur 4). Er zijn ook krachtmeters die je in moet duwen.
Op een krachtmeter staat een schaalverdeling in **newton**. De newton (N) is de eenheid waarin alle krachten gemeten worden. Deze eenheid is genoemd naar de Engelse natuurkundige Isaac Newton (1642–1727). In zijn theorie speelt de zwaartekracht een grote rol. Om de zwaartekracht (in N) op een voorwerp te vinden, moet je de massa (in kg) vermenigvuldigen met een factor g. Op aarde geldt: g = 9,8 N/kg; op andere planeten heeft g een andere waarde. In formulevorm:

$$F_z = m \cdot g$$

Krachten tekenen

Een kracht heeft een grootte, een richting en een aangrijpingspunt. Een grootheid met deze eigenschappen heet een **vector** (van het Latijnse werkwoord *vehere* = 'voeren, dragen, brengen'). Een vector teken je als een pijl:
- De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht aan.
- De richting van de pijl geeft de richting van de kracht aan.
- Het beginpunt van de pijl geeft het **aangrijpingspunt** aan.

Als je een kracht gaat tekenen, kies je eerst een **krachtenschaal**. Bijvoorbeeld: 1 cm ≙ 5 N. Een pijl met een lengte van 1 cm stelt dan een kracht van 5 N voor.
Denk er altijd goed over na waar je de pijl laat beginnen. In figuur 5 ligt het aangrijpingspunt van de spierkracht op de plaats waar de handen tegen de piano duwen: daar begint de pijl.



▶ **figuur 5**
Zo teken je de spierkracht die op een piano wordt uitgeoefend.

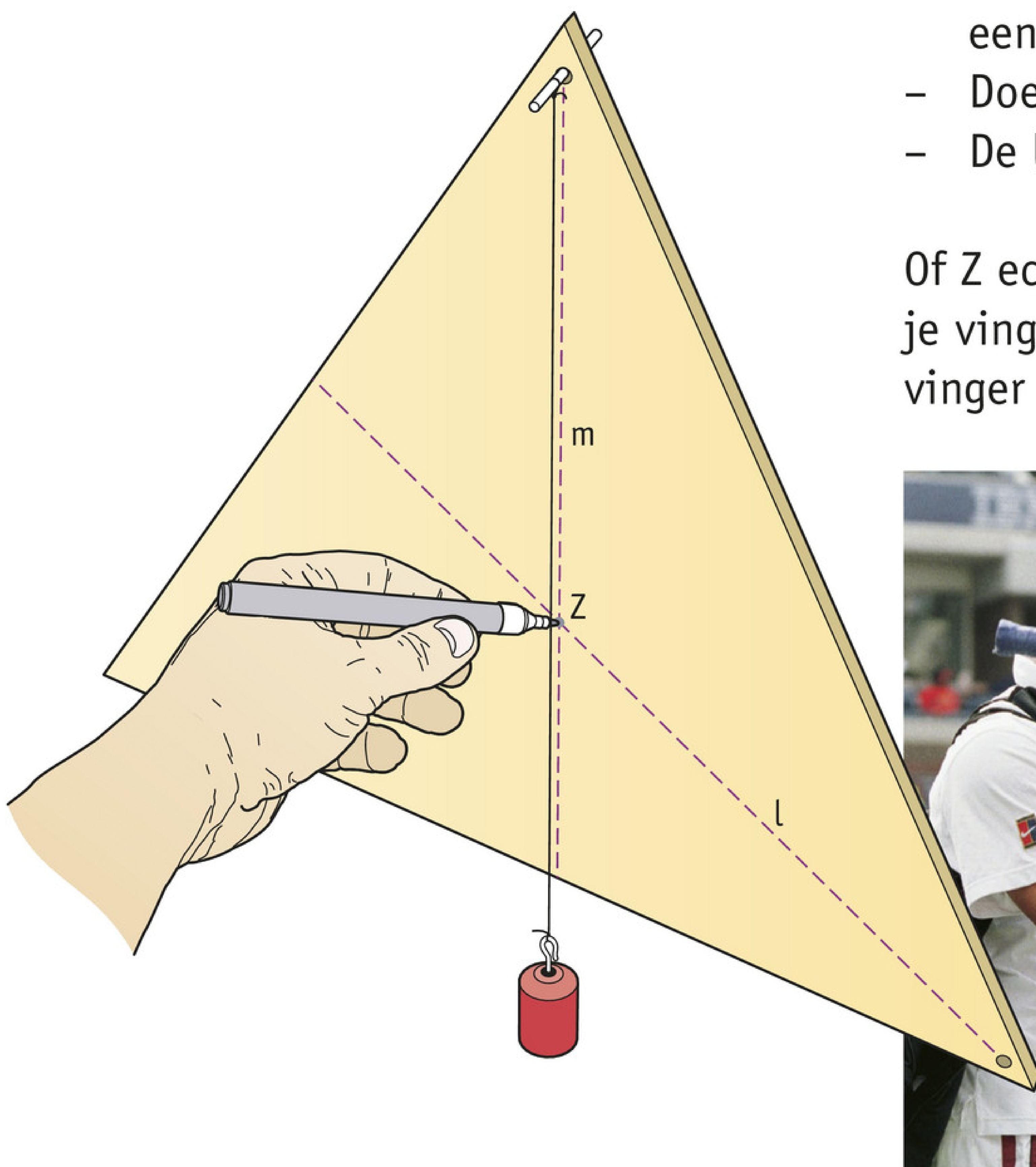
Zwaartepunt

De zwaartekracht werkt op alle punten van een voorwerp. Je zou dus eigenlijk overal in het voorwerp kleine vectoren naar beneden moeten tekenen. Dat is niet handig; daarom teken je één pijl vanuit het **zwaartepunt** Z. Bij een eenvoudig voorwerp, zoals een bol of een kubus, ligt dat punt in het midden van het voorwerp.

Bij platte voorwerpen kun je de plaats van het zwaartepunt als volgt bepalen:
- Hang het voorwerp op. Teken vanuit het ophangpunt met behulp van een gewichtje aan een touwtje een lijn recht naar beneden (lijn l).
- Doe dat nogmaals vanuit een ander ophangpunt (lijn m).
- De lijnen snijden elkaar in het zwaartepunt Z (figuur 6).

Of Z echt het zwaartepunt is, kun je controleren door het voorwerp op je vinger te laten balanceren. Als het voorwerp in evenwicht is, moet je vinger zich precies onder Z bevinden (figuur 7).

▼ **figuur 6**
Zo bepaal je het zwaartepunt.





◀ **figuur 7**
Een tennisser demonstreert de plaats van het zwaartepunt van zijn tennisracket.

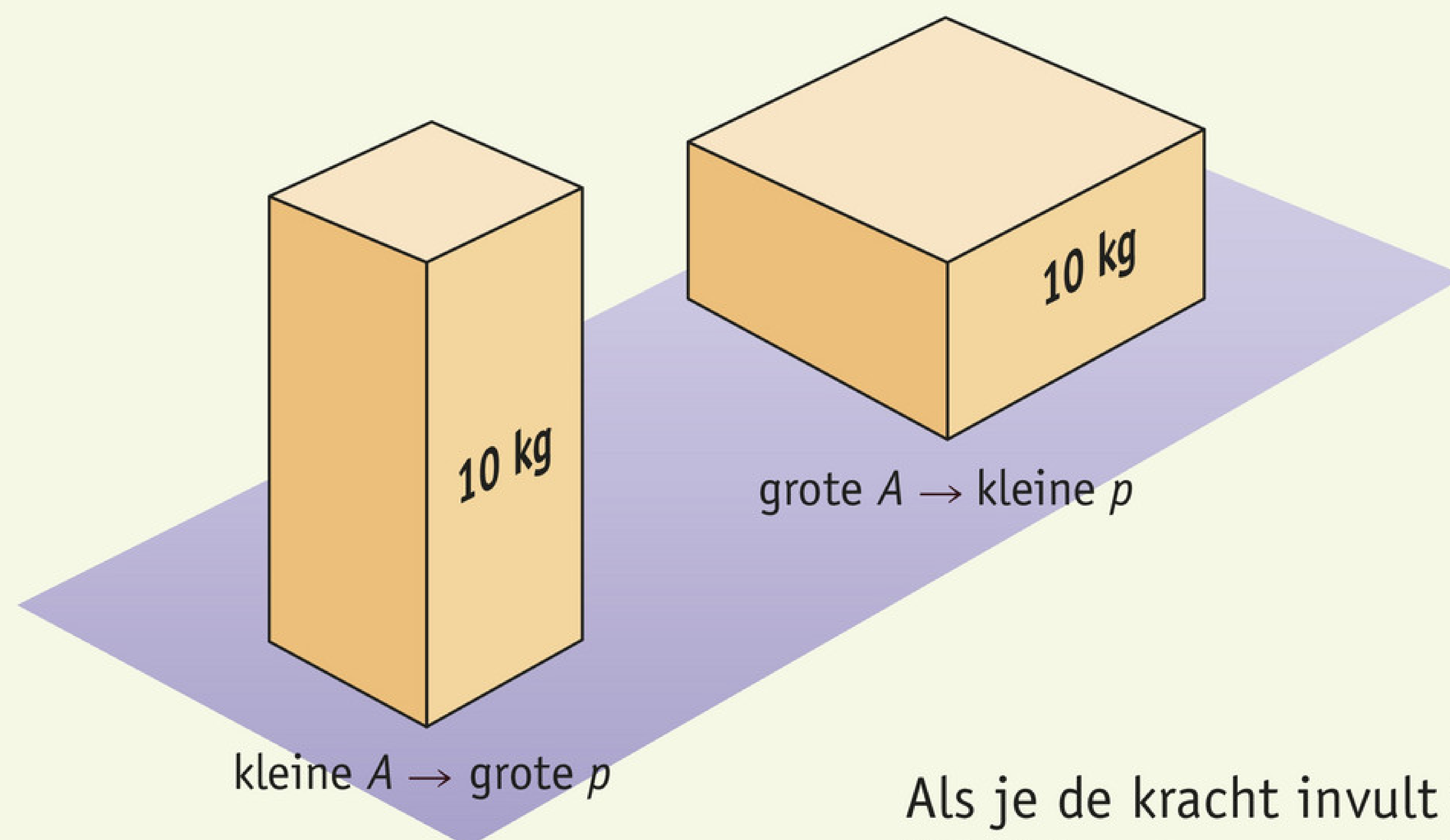
Plus Druk

Met gewone schoenen zak je verder in de sneeuw dan met ski's. Dat komt doordat bij de ski's de zwaartekracht wordt verdeeld over een grotere oppervlakte. De druk op de sneeuw is bij ski's daardoor kleiner dan bij schoenen. De **druk** is de kracht per m².
Je kunt de druk berekenen door de kracht te delen door de oppervlakte:

$$\text{druk} = \frac{\text{kracht}}{\text{oppervlakte}}$$

In formulevorm:

$$p = \frac{F}{A}$$



▲ **figuur 8**
grote druk (links) en kleine druk (rechts)

Als je de kracht invult in N en de oppervlakte in m², vind je de druk in N/m² (newton per vierkante meter).

De eenheid N/m² wordt aangeduid met Pa, wat staat voor **pascal**. Blaise Pascal (1623–1662) was een Franse wetenschapper die onder andere aantoonde dat de luchtdruk afneemt met de hoogte.

Soms is het belangrijk de druk zo klein mogelijk te houden, bijvoorbeeld wanneer zware voertuigen over een drassig terrein moeten rijden. Er worden dan rupsbanden gebruikt of wielen met een groot contactoppervlak. Het **contactoppervlak** is het gebied waarover de kracht wordt verdeeld. Als je het contactoppervlak vergroot, verklein je de druk (figuur 8).

In andere gevallen wordt de druk juist bewust heel groot gemaakt door het contactoppervlak heel klein te maken. Een scherp mes heeft een kleiner contactoppervlak dan een bot mes. De druk is dan groter en het mes snijdt beter. Ook de punt van een injectienaald moet zo scherp mogelijk zijn.

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke twee gevolgen kan een kracht hebben?
- **b** Wat is het verschil tussen een elastische en een plastische vervorming?
- **c** Hoe groot is de zwaartekracht op aarde op een voorwerp met een massa van 10 kg?
- **d** Wat wordt bedoeld met 'het aangrijpingspunt van een kracht'?
- **e** Over welke drie dingen moet je nadenken voordat je een krachtvector gaat tekenen?



▲ **figuur 9**
Welke krachten spelen hier een rol?

2 Schrijf voor elk van de volgende situaties op:
- of de vervorming van het (schuingedrukte) voorwerp elastisch of plastisch is;
- welke krachten een rol spelen.

a Marie ploft neer op de *bank*.
b Een koorddanser loopt over een *koord*.
c Een loodgieter maakt een bocht in een koperen *buis*.
d Een atleet hangt aan een doorbuigende *polsstok* (figuur 9).

3 Bekijk figuur 2 op bladzijde 8 nog eens.
Hoe heet de kracht:
a die ervoor zorgt dat de expander een flink eind uitrekt?
b die de expander op de handen van de jongen uitoefent?

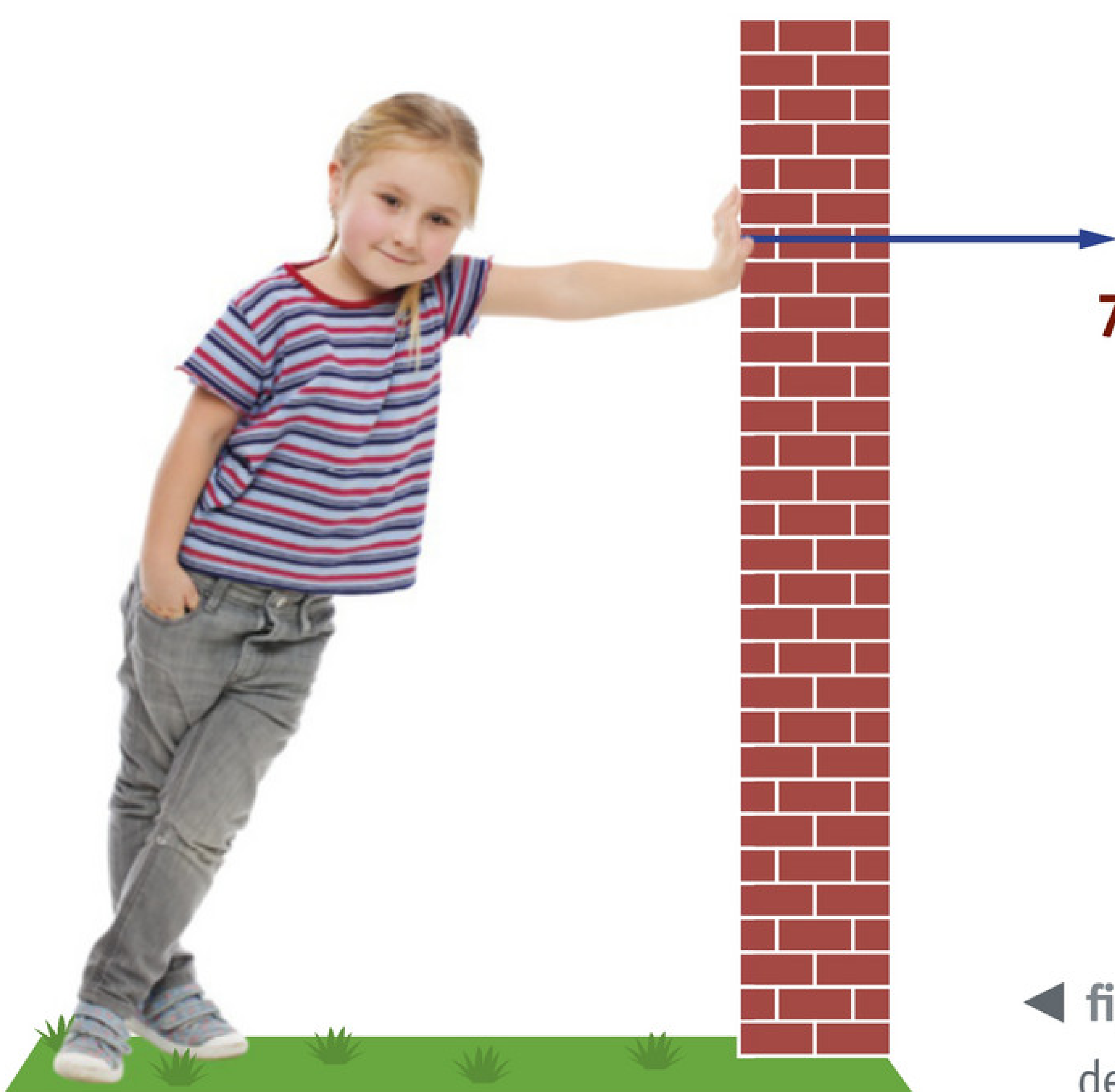
4 Kracht is een voorbeeld van een vectorgrootheid.
a Noem nog een ander voorbeeld van een vectorgrootheid.
b Noem twee grootheden die geen vectorgrootheid zijn.

5 Bij deze opgave heb je werkblad 1-1 nodig.
Teken op het werkblad de volgende krachten. Neem als krachtenschaal 1 cm ≙ 100 N.
a de kracht van 400 N waarmee Jaap-Jan aan het touw trekt
b de kracht van 450 N waarmee Manons voet op de balk drukt
c de kracht van 500 N waarmee de aarde aan Marjolein trekt
d de twee krachten van 150 N die de expander op Pim uitoefent

6 In figuur 10 is de kracht getekend die Sophie met haar hand uitoefent op de muur.
a Welke krachtenschaal heeft de tekenaar gebruikt als de kracht op de muur 76 N is?
b Sophie heeft een massa van 30 kg. Je tekent de zwaartekracht op Sophie met dezelfde krachtenschaal.
Bereken de lengte van de pijl.

7 Bij deze opgave heb je werkblad 1-2 nodig.
Op het werkblad zie je twee turners die een strijd tegen de zwaartekracht voeren.
a Bereken de zwaartekracht:
- op Elise.
- op Iwan.

b Teken in elke tekening de zwaartekracht als een pijl.
Gebruik als krachtenschaal 1 cm ≙ 100 N.



◀ **figuur 10**
de kracht van de hand op de muur

8 Bij deze opgave heb je werkblad 1-3 nodig.
- **a** De voorwerpen a, b en c zijn van hetzelfde materiaal gemaakt. Geef bij elk voorwerp met een Z aan waar (ongeveer) het zwaartepunt ligt.
- **b** De voorwerpen d en e zijn deels van ijzer (donkere gedeelte) gemaakt en deels van aluminium (lichte gedeelte). Geef bij elk voorwerp het zwaartepunt aan.

***9** De zwaartekracht wordt kleiner als je verder van de aarde weggaat.
- **a** Wordt je massa ook kleiner als je hoger komt?
- **b** Bereken de zwaartekracht op je lichaam hier op aarde.
- **c** De aarde heeft een straal van 6371 km. Als je de afstand tot het middelpunt van de aarde $n\times$ zo groot maakt, wordt de zwaartekracht $n^2\times$ zo klein. Bereken op welke afstand van het middelpunt van de aarde de zwaartekracht 6× zo klein is als op het aardoppervlak.
- **d** Hoe groot is daar g?

Plus Druk

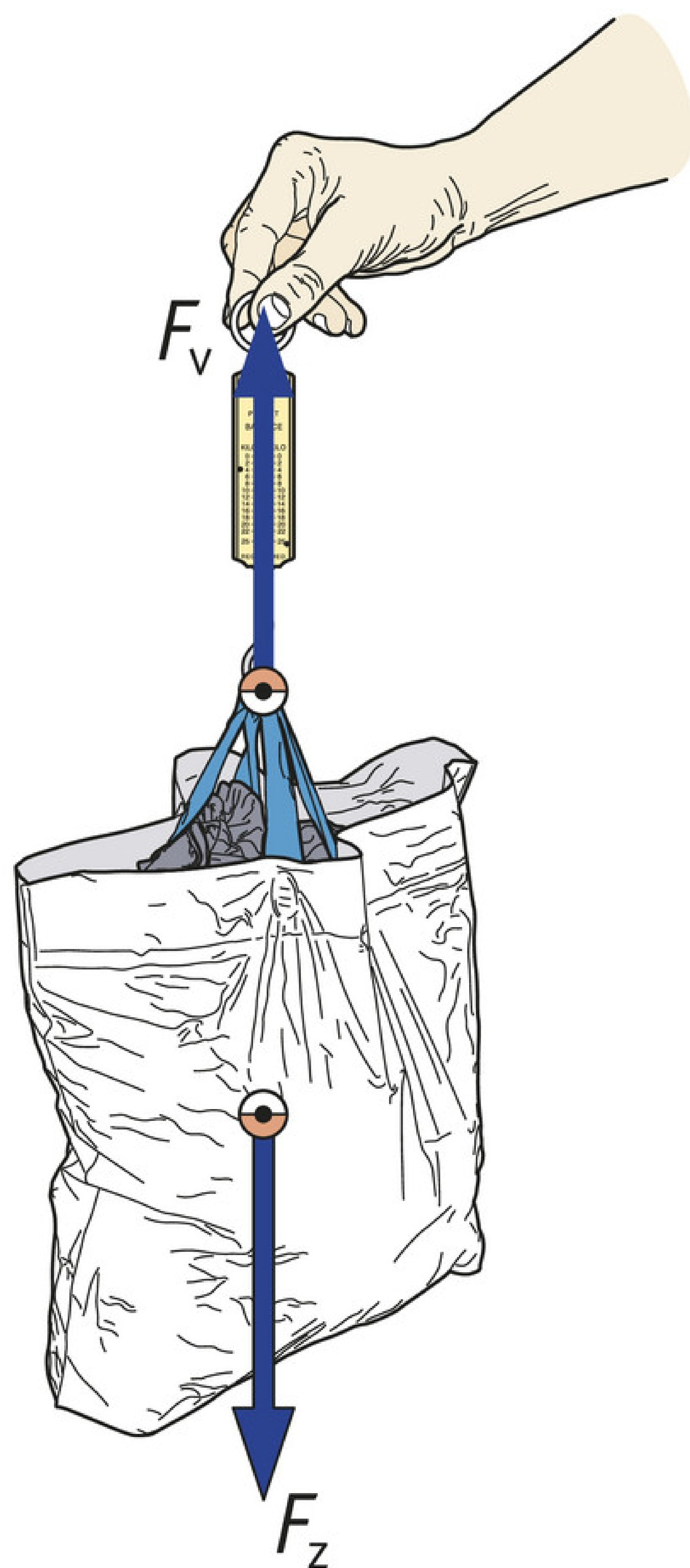
10 Leg de volgende situaties uit en gebruik daarbij het woord 'druk':
- **a** Grote koffers hebben altijd een breed handvat.
- **b** Een bijl wordt geslepen als hij stomp is geworden.
- **c** Je mag niet met naaldhakken over een parketvloer lopen.
- **d** Op een bouwplaats legt men vaak betonplaten op de toegangsweg.

11 Een baksteen met een gewicht van 20 N heeft een lengte van 20 cm, een breedte van 10 cm en een hoogte van 5,0 cm. Hij ligt op een zachte ondergrond.
- **a** Op welk vlak moet je de baksteen leggen voor de kleinste druk?
- **b** Bereken deze druk (in kilopascal).
- **c** Op welk vlak moet je de baksteen leggen voor de grootste druk?
- **d** Bereken deze druk in kPa.
- **e** Hoe kun je zonder te rekenen beredeneren dat de druk bij d 4× zo groot is als de druk bij b?

12 Iemand is door het ijs gezakt. Petra (60 kg) wil de drenkeling redden. Zij kan naar het wak lopen, of ernaartoe 'schuiven' terwijl ze plat op het ijs ligt. De oppervlakte van haar schoenzool is 150 cm^2. Als ze plat op de grond ligt, is het contactoppervlak 3000 cm^2 groot. Het ijs kan een druk weerstaan van maximaal 5000 Pa.
- **a** Wat kan Petra het best doen: lopen of schuiven? Waarom?
- **b** Ga met een berekening na of Petra door het ijs zakt als ze er op staat.
- **c** Hoeveel keer zo groot/klein is de druk als ze op het ijs gaat liggen? Geef je antwoord zonder een berekening te maken.

2 Krachten in evenwicht

Bij een wedstrijd touwtrekken kunnen de strijdende partijen elkaar lang in evenwicht houden. Zolang de krachten naar links en naar rechts even groot zijn, verandert er niets.

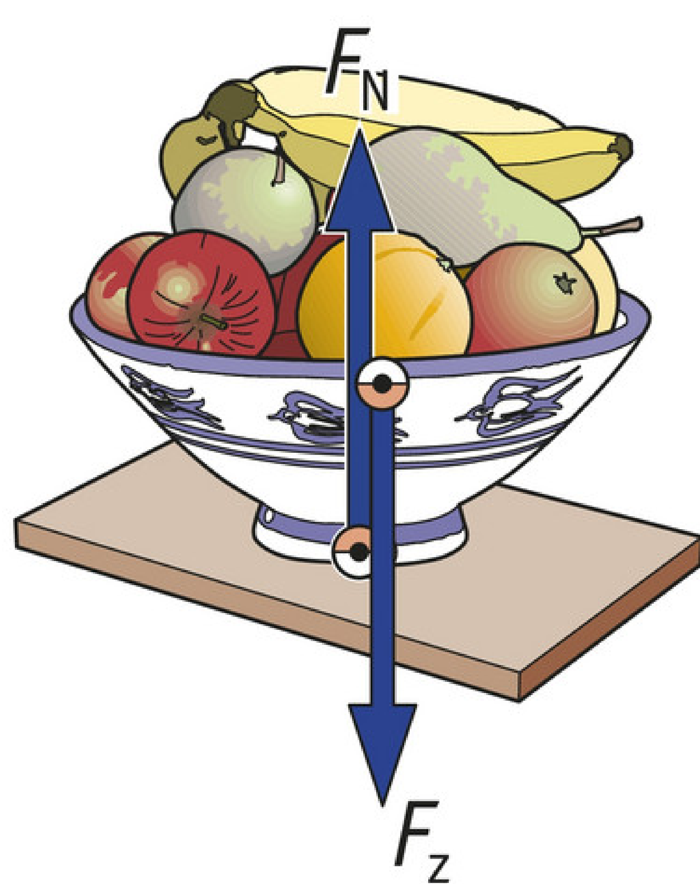


▲ figuur 11
zwaartekracht en veerkracht

Twee krachten in evenwicht

Als je een voorwerp aan een veer hangt, beweegt het voorwerp eerst naar beneden en rekt de veer uit. Er is dan nog geen evenwicht. De veer rekt verder uit en de veerkracht neemt toe. Pas als de veerkracht even groot is als de zwaartekracht, hangt het voorwerp stil en is er **evenwicht** (figuur 11).

De fruitschaal van figuur 12 blijft op tafel staan en is dus in evenwicht. De zwaartekracht werkt naar beneden en er moet dus nog een kracht omhoog zijn. Die ontstaat doordat het tafelblad door het gewicht van de fruitschaal een heel klein beetje indeukt. Het tafelblad oefent daardoor een kracht uit op de fruitschaal loodrecht omhoog: de **normaalkracht** F_N. Let op: de normaalkracht werkt dus op het voorwerp, niet op de tafel. De normaalkracht maakt evenwicht met de zwaartekracht, zodat de fruitschaal niet in beweging komt.

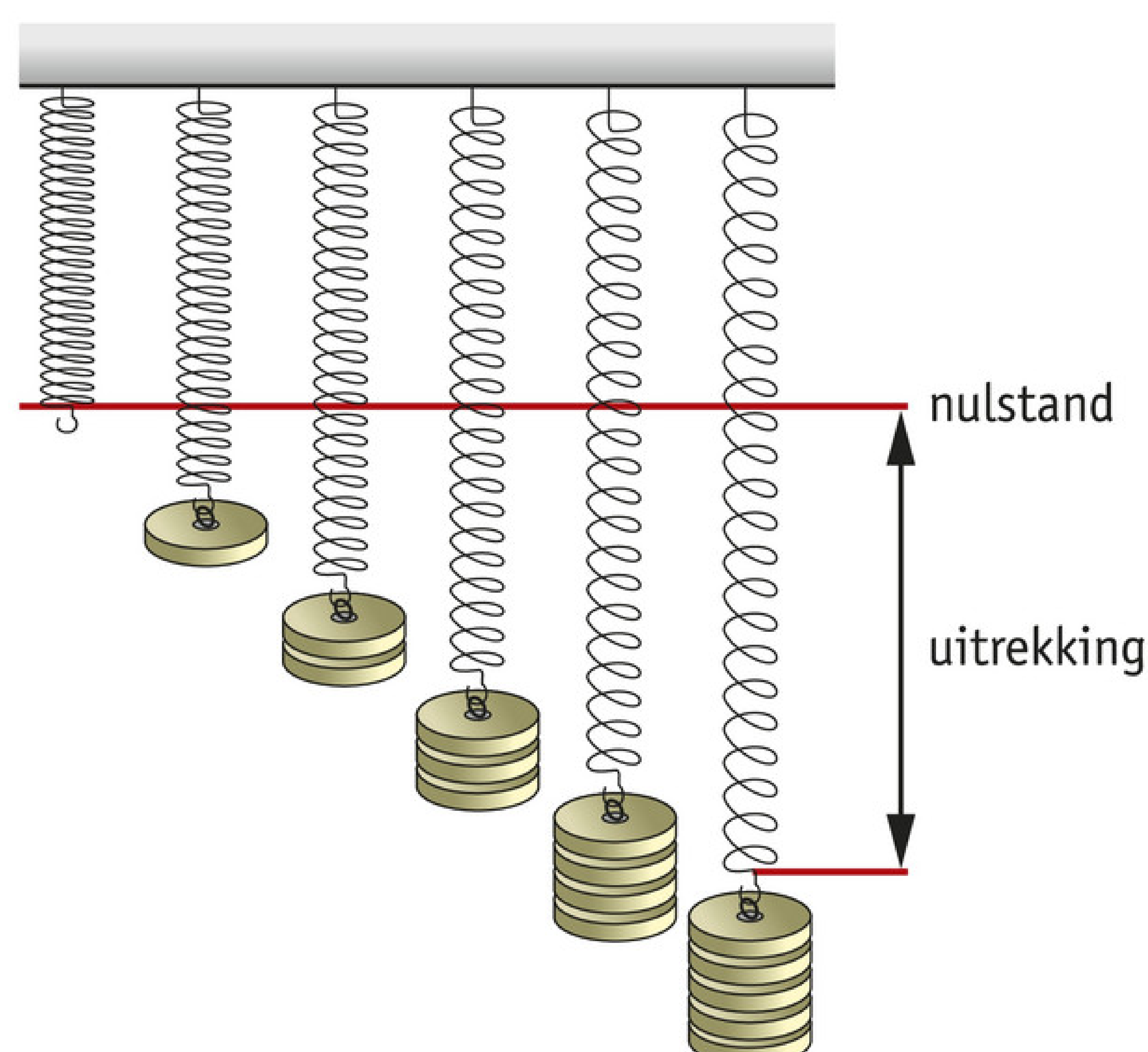


▲ figuur 12
zwaartekracht en normaalkracht

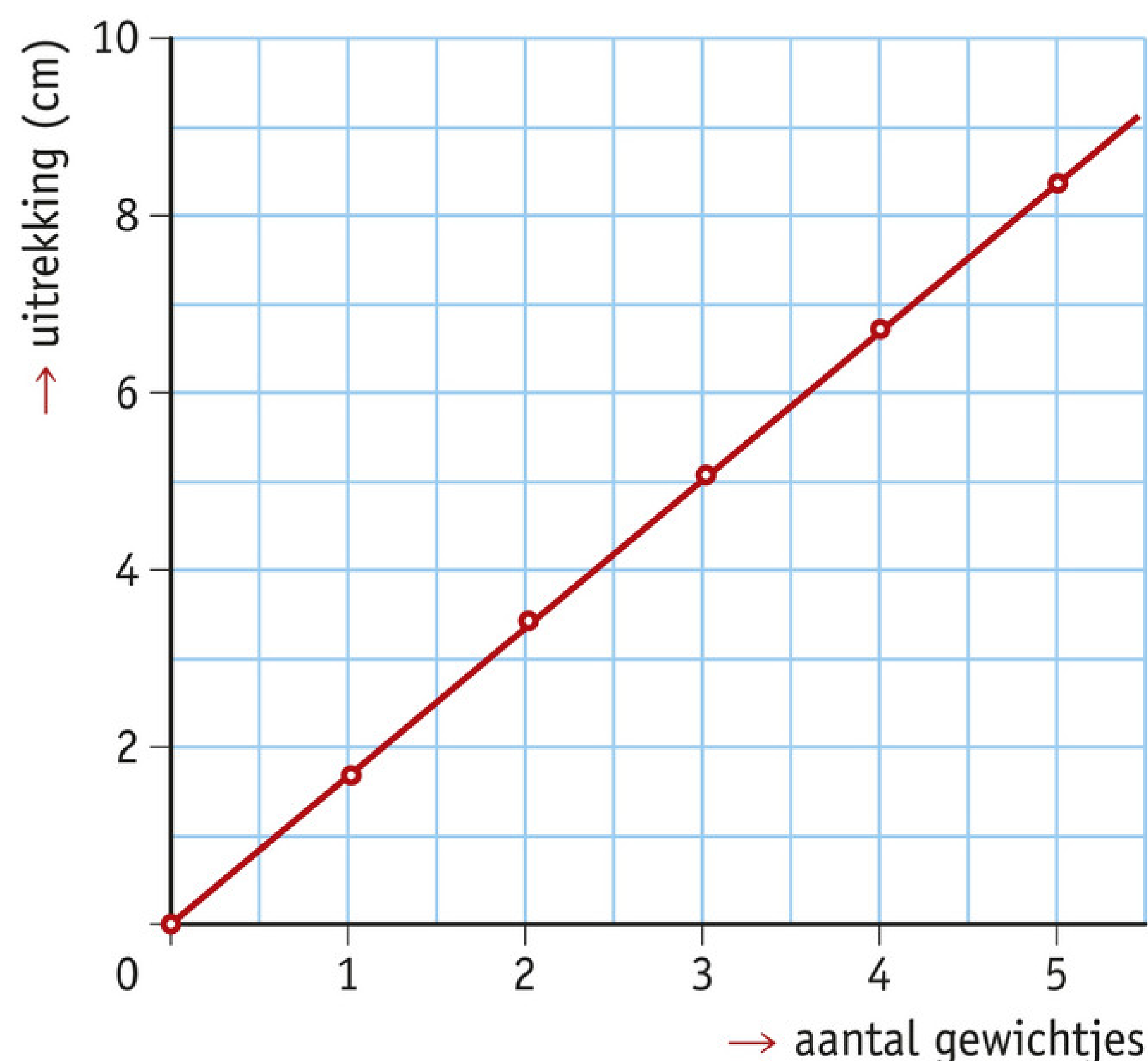
Kracht en uitrekking   Proef 1

In figuur 13 zie je hoe je het verband kunt bepalen tussen de kracht op een veer en de **uitrekking** van die veer. De uitrekking is dan de toename van de lengte van de veer ten opzichte van de **nulstand**. Uit de proef blijkt het volgende:

- Als de kracht *n*× zo groot wordt, wordt de uitrekking ook *n*× zo groot (n = 2, 3, …).
- De grafiek van de meetresultaten is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 14).



▶ figuur 13
de uitrekking van een veer bepalen



▲ **figuur 14**
Met deze grafiek kun je de veerconstante bepalen.

Zo'n verband heet **recht evenredig**. Hier is dus de uitrekking recht evenredig met de kracht.

Omdat de uitrekking van een veer recht evenredig is met de kracht, krijg je steeds hetzelfde getal als je de kracht deelt door de bijbehorende uitrekking. In formulevorm:

$$C = \frac{F}{u}$$

Dit constante getal C heet de **veerconstante**. Als je de kracht F invult in N en de uitrekking u in cm, vind je de veerconstante C in N/cm. Als je u invult in m, vind je de veerconstante C in N/m.
De veerconstante is een maat voor de **stugheid** van een veer. Een veer met C = 200 N/cm is bijvoorbeeld veel stugger dan een veer met C = 2,0 N/cm.

Voorbeeldopgave 1
Een veer is 23,2 cm lang. Als je er een gewichtje van 250 g aanhangt, wordt hij 31,8 cm lang.
Bereken de veerconstante in N/m.

gegevens u = 31,8 − 23,2 = 8,6 cm
m = 250 g = 0,25 kg

gevraagd C = ?

uitwerking $F_z = m \cdot g$ = 0,25 × 9,8 = 2,45 N

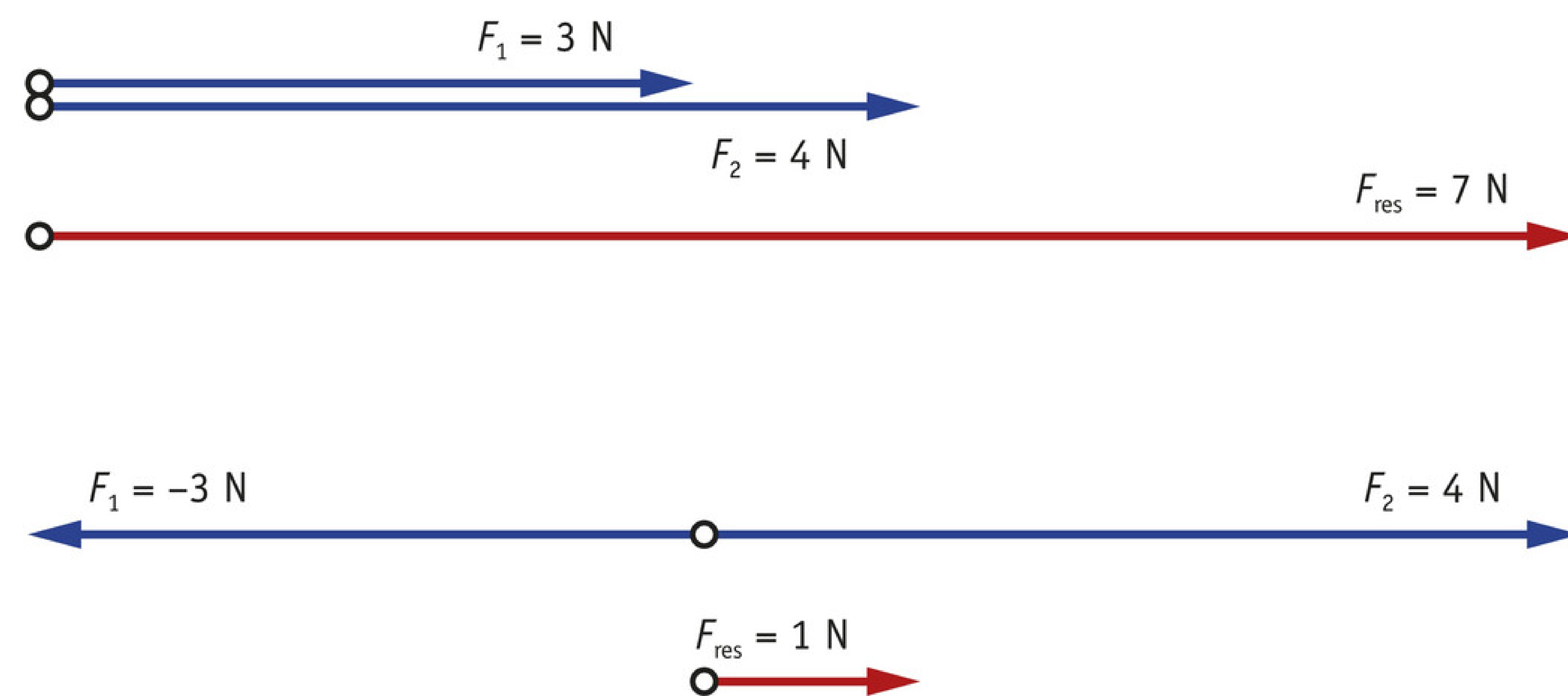
$$C = \frac{F}{u} = \frac{2{,}45}{8{,}6} = 0{,}28 \text{ N/cm}$$

Per cm uitrekking is 0,28 N nodig, dus per m is dat 100 × 0,28 = 28 N.
Dan is C = 28 N/m.

Krachten langs een lijn

Als krachten evenwicht maken, heffen ze elkaar op: het lijkt dan alsof er helemaal geen krachten op het voorwerp werken. Je zegt in dat geval dat de **resultante** F_{res} op het voorwerp 0 N is. De resultante is de optelsom van alle krachten samen. De resultante wordt ook wel resulterende kracht, nettokracht of somkracht genoemd.

Als krachten langs dezelfde lijn liggen, kun je de resultante berekenen door de krachten bij elkaar op te tellen. Daarbij tel je krachten in de ene richting mee als positieve getallen en krachten in de tegenovergestelde richting als negatieve getallen (figuur 15). Welke richting je als positief neemt, mag je zelf bepalen.

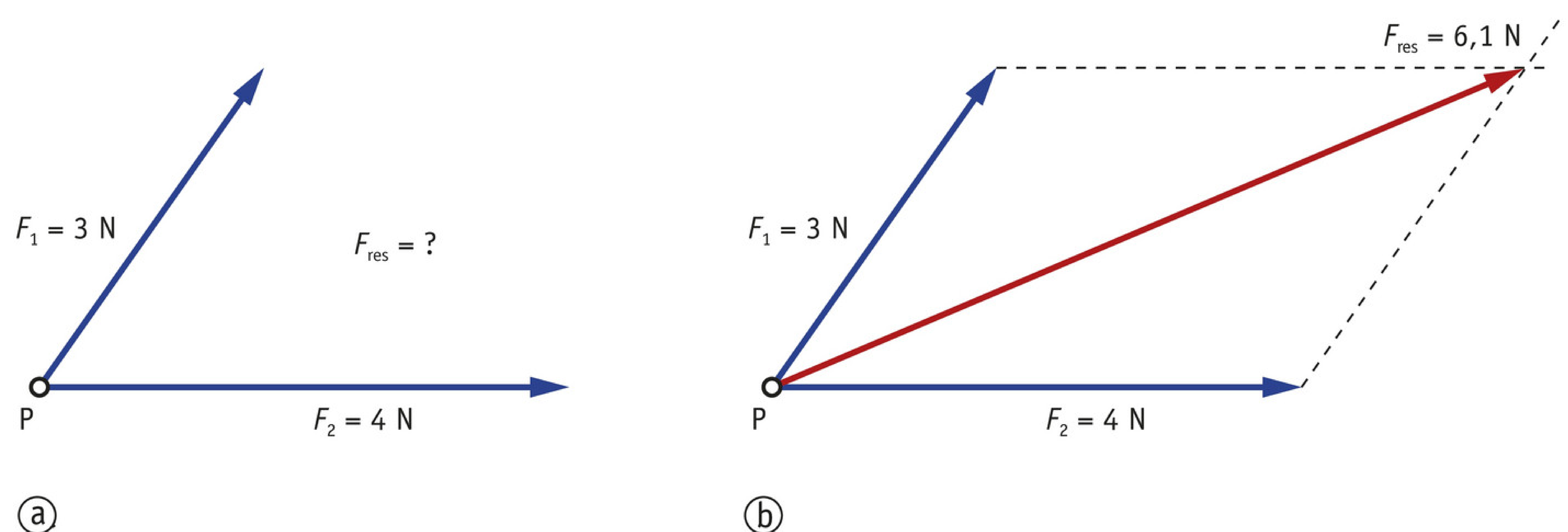


▶ **figuur 15**
krachten optellen

Krachten samenstellen

In figuur 16a zie je twee krachten die in verschillende richtingen werken. Krachten zijn vectoren. Je mag ze hier daarom niet zomaar optellen. Je kunt de resultante vinden met de **parallellogrammethode**. Die werkt als volgt:

1. Kies een geschikte krachtenschaal zodat de pijlen niet te klein of te groot worden.
2. Teken de krachten op schaal en onder de juiste hoek.
3. Teken het parallellogram zoals in figuur 16b.
4. Teken de resultante; dat is de rode pijl in figuur 16b.
5. Meet de lengte van deze pijl en bereken met de krachtenschaal de grootte van de resultante.
6. Bepaal de richting van de resultante door de hoek op te meten in figuur 16b.



▲ **figuur 16**
Zo bepaal je de resultante van twee krachten.

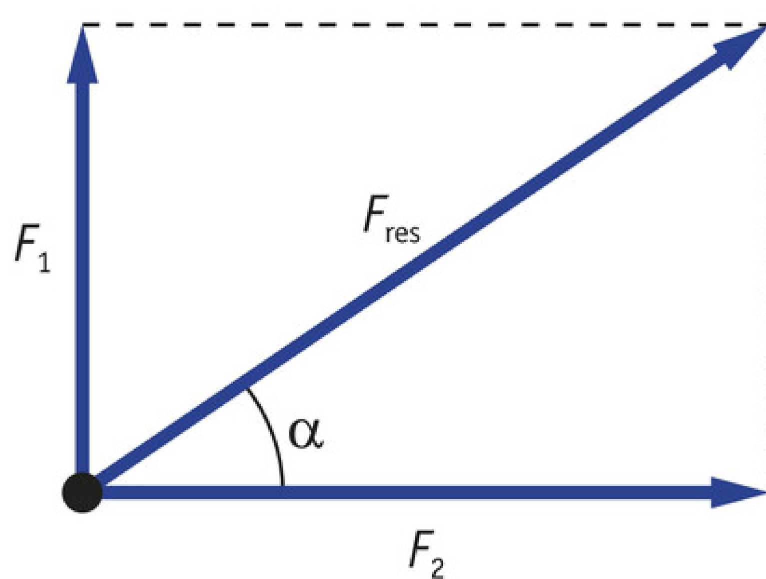
Krachten loodrecht op elkaar

In figuur 17 zie je de constructie van de resultante als twee krachten loodrecht op elkaar staan. Je kunt dan de grootte van de resultante berekenen met de stelling van Pythagoras. Er geldt:

$$F_1^2 + F_2^2 = F_{res}^2$$

De hoek α kun je dan berekenen met de formule:

$$\tan \alpha = \frac{F_1}{F_2}$$



▲ **figuur 17**
Zo bepaal je de resultante van twee krachten loodrecht op elkaar.

Voorbeeldopgave 2
In figuur 17 geldt $F_1 = 12$ N en $F_2 = 18$ N.
Bereken de resultante en hoek α.

gegevens: $F_1 = 12$ N en $F_2 = 18$ N

gevraagd: $F_{res} = ?$
$\alpha = ?$

uitwerking: $F_1^2 + F_2^2 = F_{res}^2 = 12^2 + 18^2 = 144 + 324 = 468$
$F_{res} = \sqrt{468} = 22$ N

$$\tan \alpha = \frac{F_1}{F_2} = \frac{12}{18} = 0{,}667$$

$\alpha = 34°$

Plus Soorten evenwicht

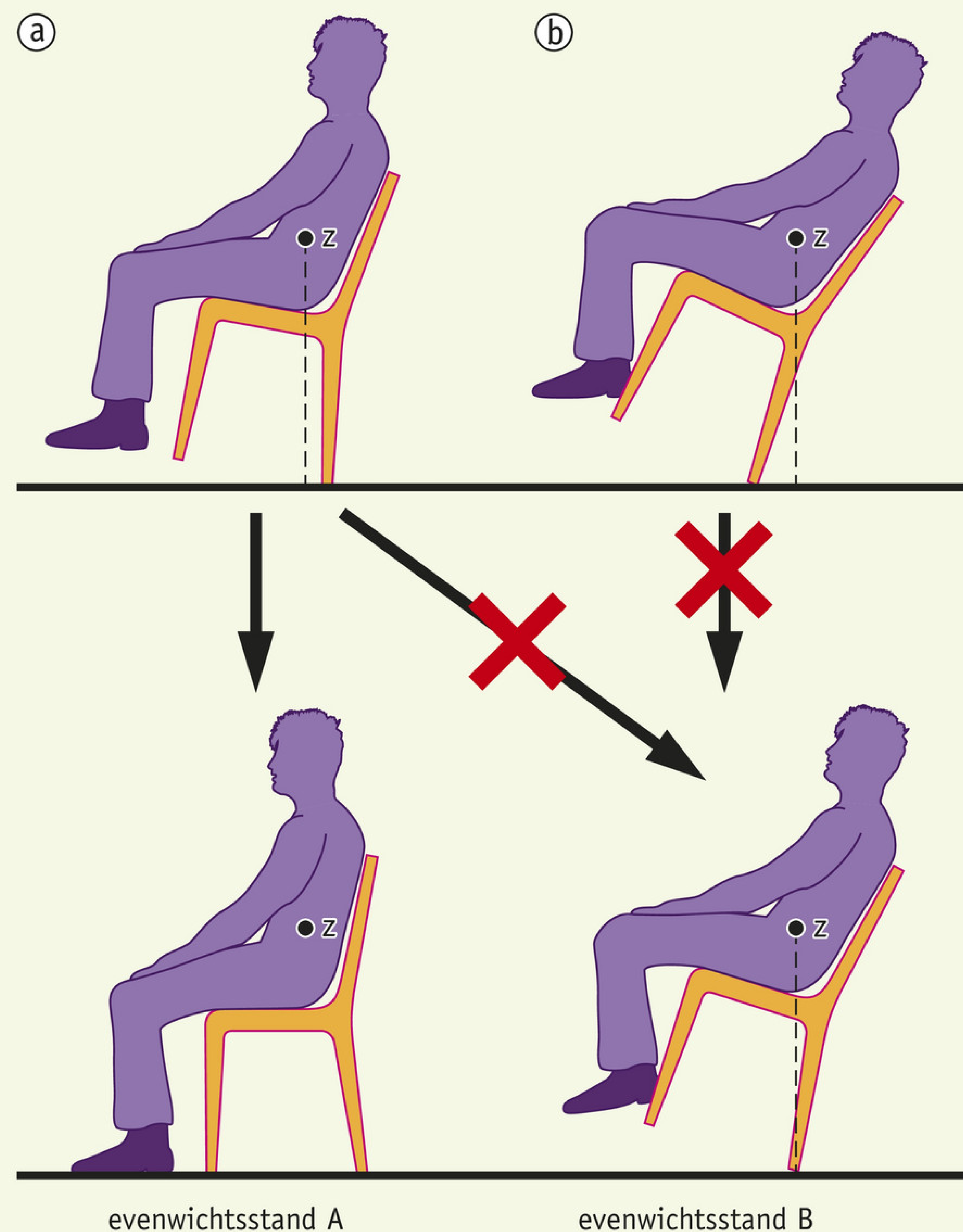


Meestal blijven voorwerpen gewoon staan, ze zijn in evenwicht. Als je normaal op je stoel zit, val je niet om. Dat komt doordat het zwaartepunt van jou en je stoel samen, zich boven het **steunvlak** bevindt (figuur 18).

◀ **figuur 18**
het steunvlak (rood) van een stoel

Sommige leerlingen vinden het fijn om hun stoel te kantelen. Ze duwen tegen de tafel zodat ze alleen op de achterste poten van hun stoel zitten (figuur 19).

In figuur 19a blijft het zwaartepunt van het voorwerp (de leerling plus de stoel) boven het steunvlak. Als de leerling de tafel loslaat, zorgt de zwaartekracht ervoor dat de stoel terugvalt op vier poten. Er is dan sprake van een **stabiel evenwicht**. Bij een stabiel evenwicht komt een voorwerp altijd terug in zijn **evenwichtsstand**. Dat is hier de stand waarin alle poten op de grond staan (stand A).



▶ **figuur 19**
twee soorten evenwicht bij een stoel: stabiel (a) en instabiel (b)

In figuur 19b bevindt het zwaartepunt zich precies boven de rand van het steunvlak. Met een beetje oefenen kan de stoel stil blijven staan zonder dat de leerling de tafel aanraakt. Er is dan een nieuwe evenwichtsstand van de stoel ontstaan (stand B).
Maar bij de kleinste verstoring gaat het mis. Als het zwaartepunt door de verstoring boven het steunvlak komt, dan gaat de stoel naar stand A. Als het zwaartepunt door de verstoring niet meer boven het steunvlak zit, dan trekt de zwaartekracht de stoel naar achteren. De stoel komt dus in geen enkel geval terug in stand B. Hier is sprake van een **instabiel evenwicht**.

opgaven

13 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke twee meetgegevens heb je nodig om de uitrekking van een veer te kunnen bepalen?

b Met welke formule kun je de veerconstante *C* van een spiraalveer berekenen?

c Je staat op een vloer.
Werkt de normaalkracht dan op jou of op de vloer?

d Leg met een schets uit hoe de parallellogrammethode werkt.

14 Bij deze opgave heb je werkblad 1-4 nodig.
Willem voert de proef uit die op het werkblad is getekend.

a In tabel 1 zie je een deel van zijn meetresultaten.
Vul de tabel op het werkblad verder in.

b Teken op het werkblad de grafiek van deze proef. Zie ook vaardigheid 7 achter in je boek.

c Bepaal met behulp van de grafiek hoe ver de veer wordt uitgerekt door een kracht van 0,5 N.

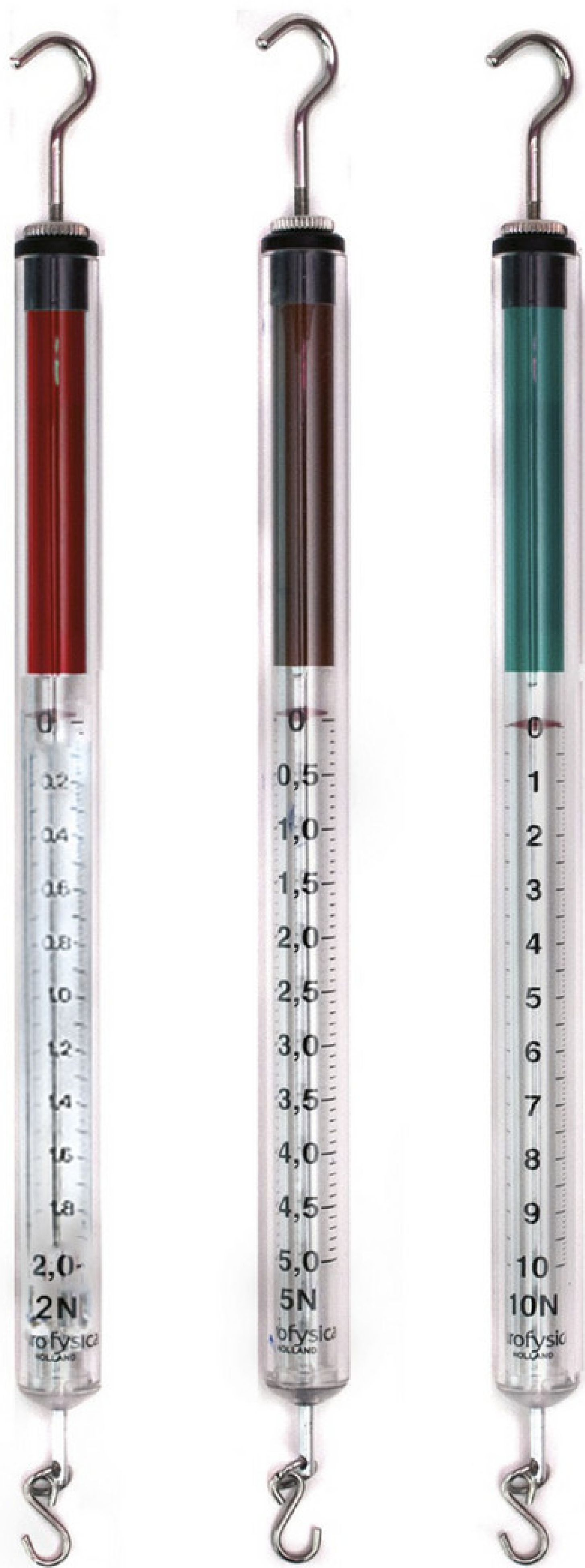
d Doe dat ook voor een kracht van 0,9 N.

e Leg uit waarom het resultaat bij c betrouwbaarder is dan dat bij d.

f Toen Willem dertig gewichtjes aan de veer hing, was de kracht 1,5 N en de uitrekking 25 cm.
Wat valt je op aan deze meting en hoe kun je hem verklaren?

▼ **tabel 1** de meetresultaten van Willem

aantal gewichtjes	kracht op de veer (N)	uitrekking (cm)
0	0	
1	0,15	
2	0,30	
3		
4		
5		



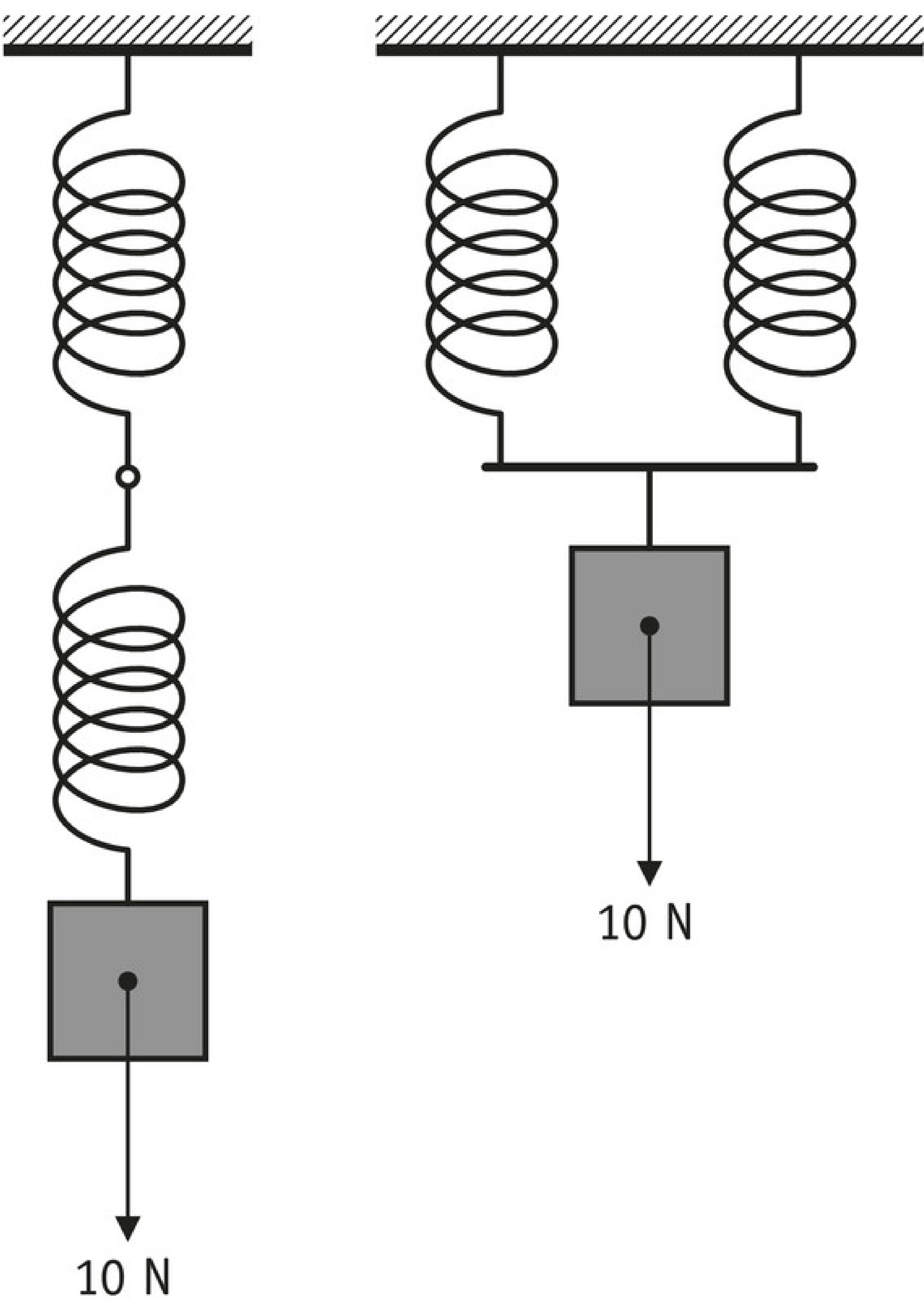
▲ **figuur 20**
drie krachtmeters

15 In figuur 20 zie je drie krachtmeters: rood (0-2 N), bruin (0-5 N) en groen (0-10 N). De afstand tussen het nulpunt en het eindpunt van de schaal is bij elke krachtmeter 8,4 cm.

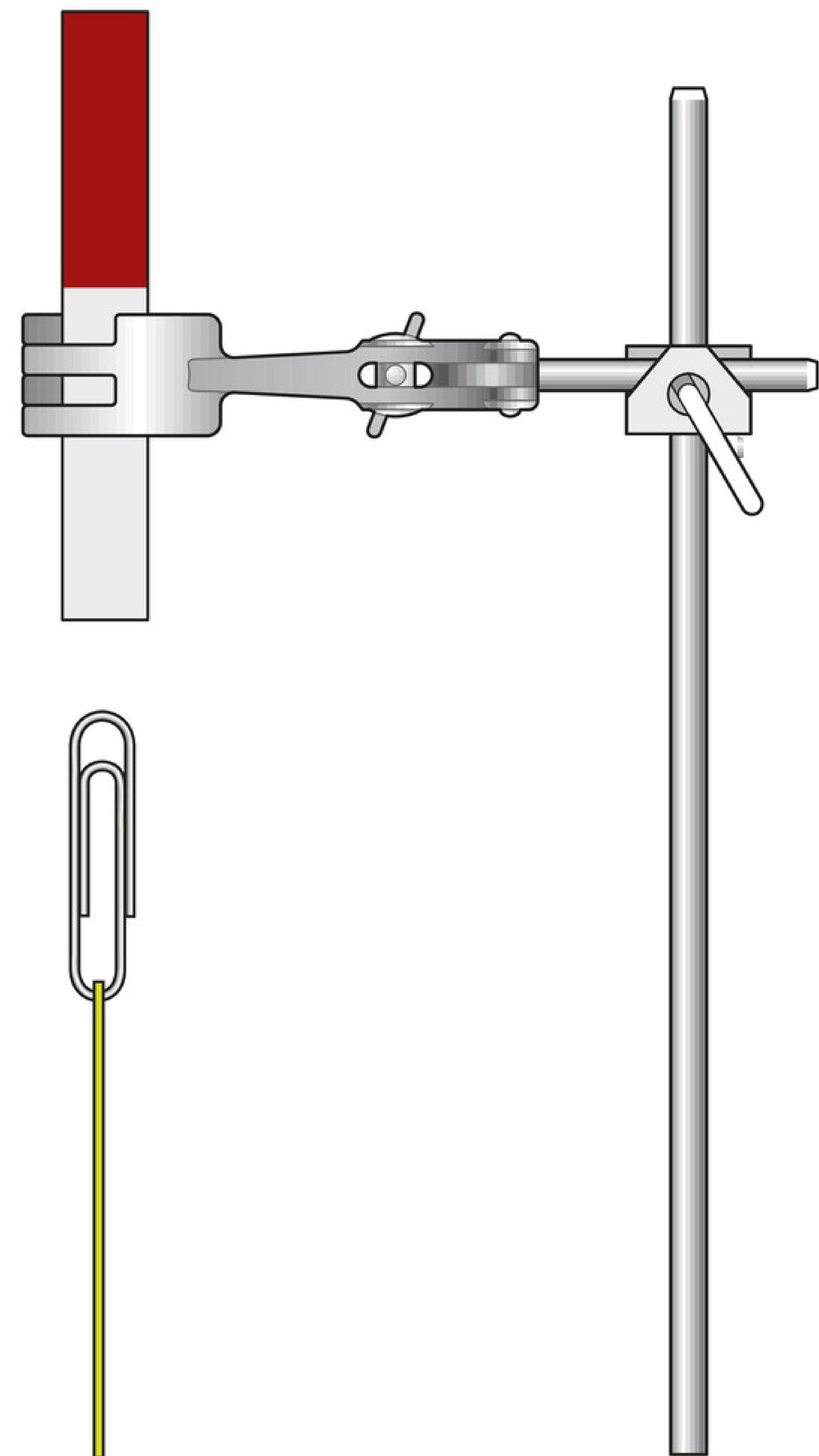
a Hoe kun je aan deze gegevens zien in welke krachtmeter de meest stugge veer zit?

b Bereken de veerconstante van de veer in de rode krachtmeter. Zie vaardigheid 5 achter in je boek.

c Beredeneer (dus zonder de formule in te vullen) hoe groot de veerconstante is van de veren in de andere krachtmeters.



▲ figuur 21
veren in serie en parallel



▲ figuur 22
de zwevende paperclip

***16** Joran hangt twee identieke spiraalveren onder elkaar en hangt er een gewichtje aan van 10 N (figuur 21). De massa van de veren mag je verwaarlozen.

- **a** Geef van elke veer aan hoe groot de kracht is die op de veer werkt.
- **b** De veerconstante van elke veer is 6 N/cm.
  Hoe groot is de veerconstante van deze combinatie van twee veren?
  Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.
- **c** Joran hangt de veren nu parallel.
  Hoe groot is nu de veerconstante van de combinatie? Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

17 In figuur 22 zie je hoe je een paperclip kunt laten zweven met behulp van een magneet.
Op de paperclip werken drie krachten.

- **a** Welke twee krachten zijn naar beneden gericht?
- **b** Welke kracht op de paperclip is omhoog gericht?
- **c** Welke van de drie krachten is het grootst? Hoe kun je dat beredeneren?

18 Bij deze opgave heb je werkblad 1-5 nodig.
Op het werkblad zie je vijf tekeningen a tot en met e waarin twee krachten F_1 en F_2 in hetzelfde punt aangrijpen.

- **a** Teken in elk van de vijf tekeningen de resultante van F_1 en F_2.
- **b** Neem tabel 2 over en vul hem verder in.
- **c** Controleer met een berekening je antwoord bij tekening c.

▼ **tabel 2** Hoe groot is de resultante?

tekening	lengte resultante (cm)	grootte resultante (N)
a		
b		
c		
d		
e		

19 Bij deze opgave heb je werkblad 1-6 nodig.
Op het werkblad zie je twee sleepboten A en B een vrachtboot slepen.
Elke sleepboot oefent een kracht van 600 kilonewton (kN) uit op de vrachtboot.

- **a** Teken deze krachten op schaal op het werkblad.
- **b** Bepaal de grootte van de resultante.

20 Twee krachten F_1 = 3 N en F_2 = 4 N werken op hetzelfde voorwerp.
Hoe groot is de resultante van F_1 en F_2:

- **a** als ze in dezelfde richting werken?
- **b** als ze in tegenovergestelde richting werken?
- **c** als ze onder een hoek van 35° werken?
- **d** als ze onder een hoek van 90° werken?



▶ **figuur 23**
een katrol aan de giek van een hijskraan

***21** Een stalen kabel loopt over een katrol (figuur 23). De kabels maken onderling een hoek van precies 90°. De spankracht in elke kabel is 50 kN.

a Bepaal met een tekening de grootte van de resultante. Gebruik daarvoor de schaal 1 cm ≙ 50 kN.

b Bereken de grootte van de resultante.

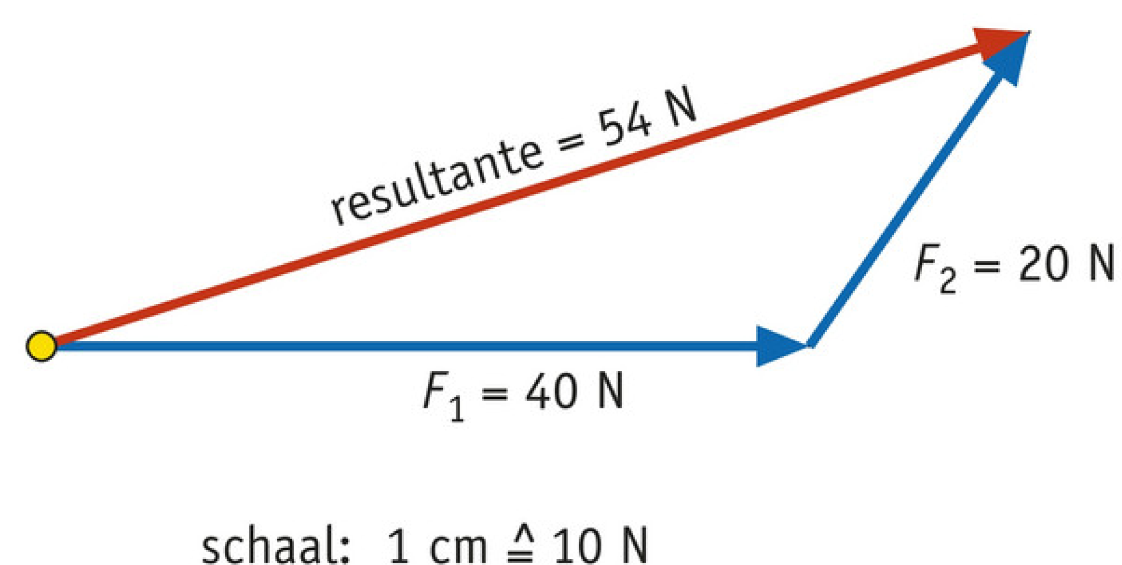
c Beredeneer welke van de methoden bij a en b het nauwkeurigst is.

d Hoe groot is de kracht waarmee de giek aan de katrol trekt?

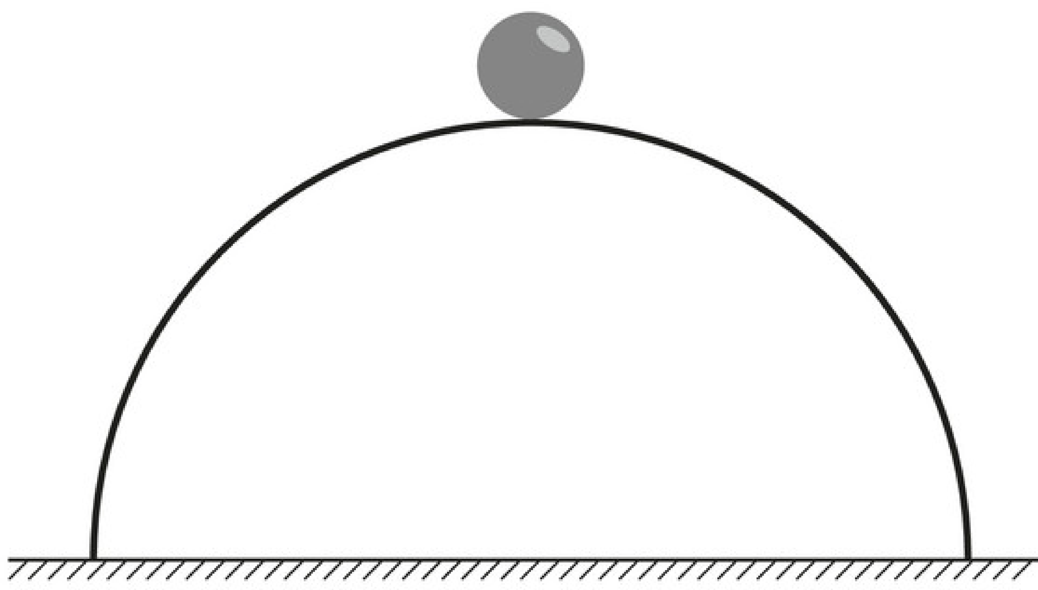
***22** Naast de parallellogrammethode is er nog een andere methode waarmee je de resultante kunt bepalen. Bij deze kop-staartmethode leg je het aangrijpingspunt van vector 2 op de pijlpunt van vector 1. In figuur 24 zie je dat de resultante loopt van het aangrijpingspunt van vector 1 naar de pijlpunt van vector 2.

a Laat met een tekening zien dat de parallellogrammethode dezelfde resultante oplevert.

b Bepaal met de kop-staartmethode de resultante van de volgende drie krachten: een kracht van 30 N omhoog, een kracht van 40 N naar rechts en een kracht van 50 N naar links.



▲ **figuur 24**
de kop-staartmethode

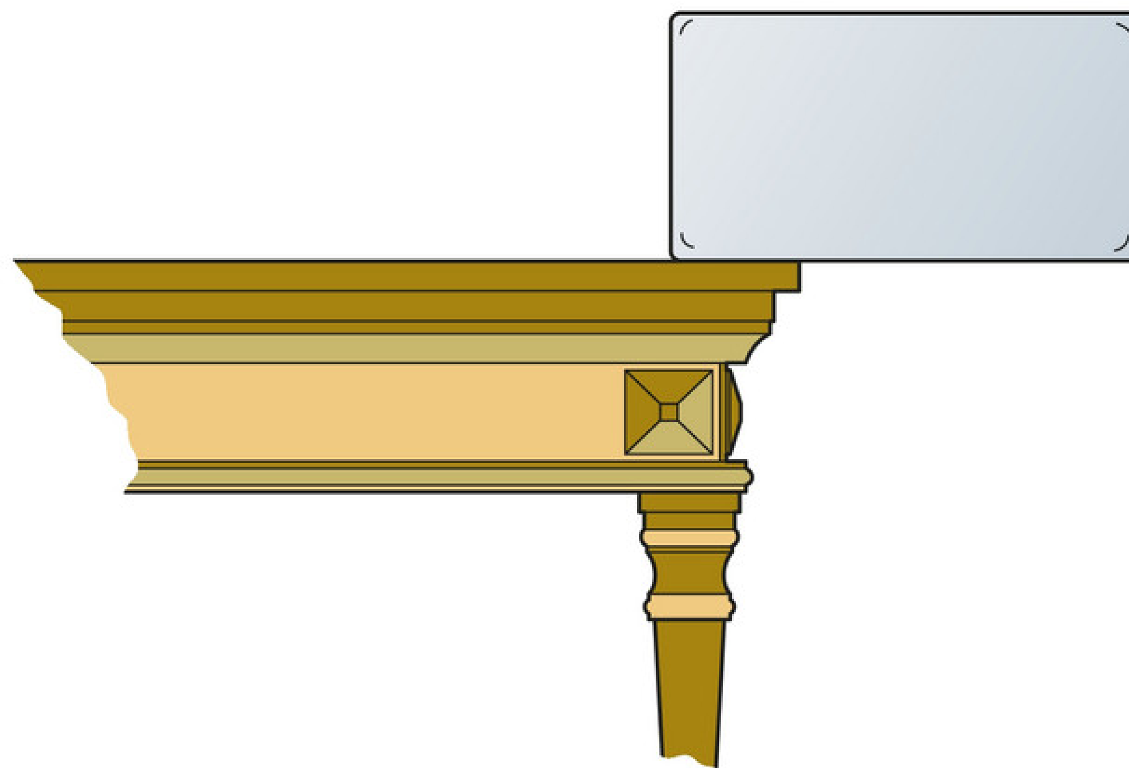


▲ figuur 25
een evenwicht

Plus Soorten evenwicht

23 Evenwichten kunnen stabiel en instabiel zijn.
Geef in de volgende situaties aan of het evenwicht stabiel is of instabiel.
- **a** Een gewichtje hangt aan een touw.
- **b** Een boek ligt plat op tafel.
- **c** Het balletje in figuur 25.

24 Een doos steekt een eind buiten de tafel uit (figuur 26). Toch valt de doos niet van de tafel.
- **a** Leg uit hoe het mogelijk is dat de doos in evenwicht is.
- **b** Is dit evenwicht stabiel of instabiel?



▶ figuur 26
een evenwicht

25 Jara staat stil op één been (figuur 27).
- **a** Waar ligt dan het steunvlak?
- **b** Wat weet je dus over het zwaartepunt van Jara's lichaam?
- **c** Jara laat haar bovenlichaam nog verder naar rechts overhellen. Hoe komt het dat ze dan haar evenwicht dreigt te verliezen? Gebruik het woord 'zwaartepunt' in je uitleg.
- **d** Wat kan Jara doen om in haar nieuwe houding het evenwicht te herstellen?



▶ figuur 27
Als je op één been staat, is het moeilijker om je evenwicht te bewaren.

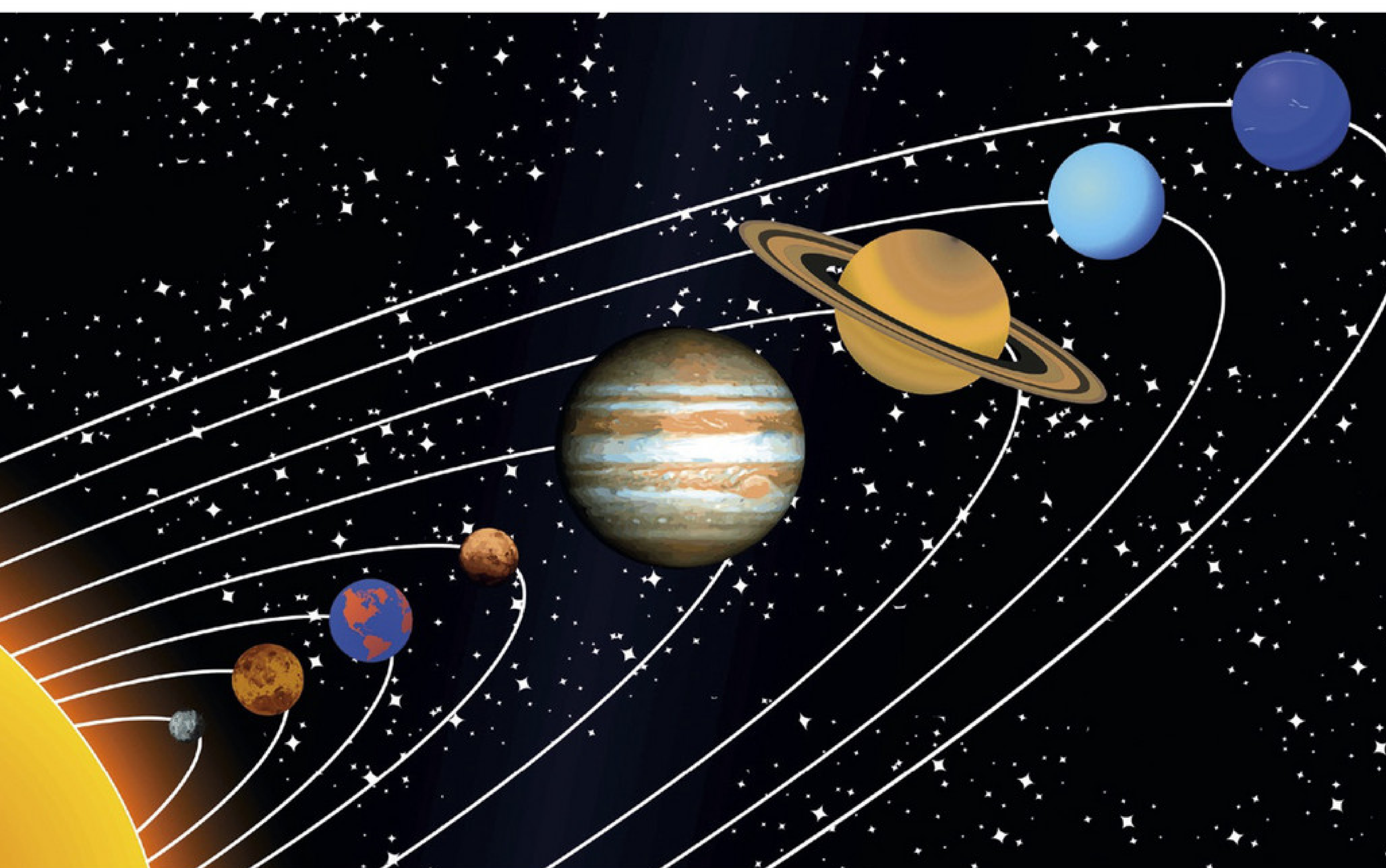
3 Krachten in het heelal

Wetenschappers dachten vroeger dat sterren en planeten zich in de 'hemelse sferen' bevinden, ver buiten het bereik van de zwaartekracht. Dat idee bleek niet te kloppen. De zwaartekracht komt overal in het heelal voor en beïnvloedt de beweging van sterren, planeten en manen.

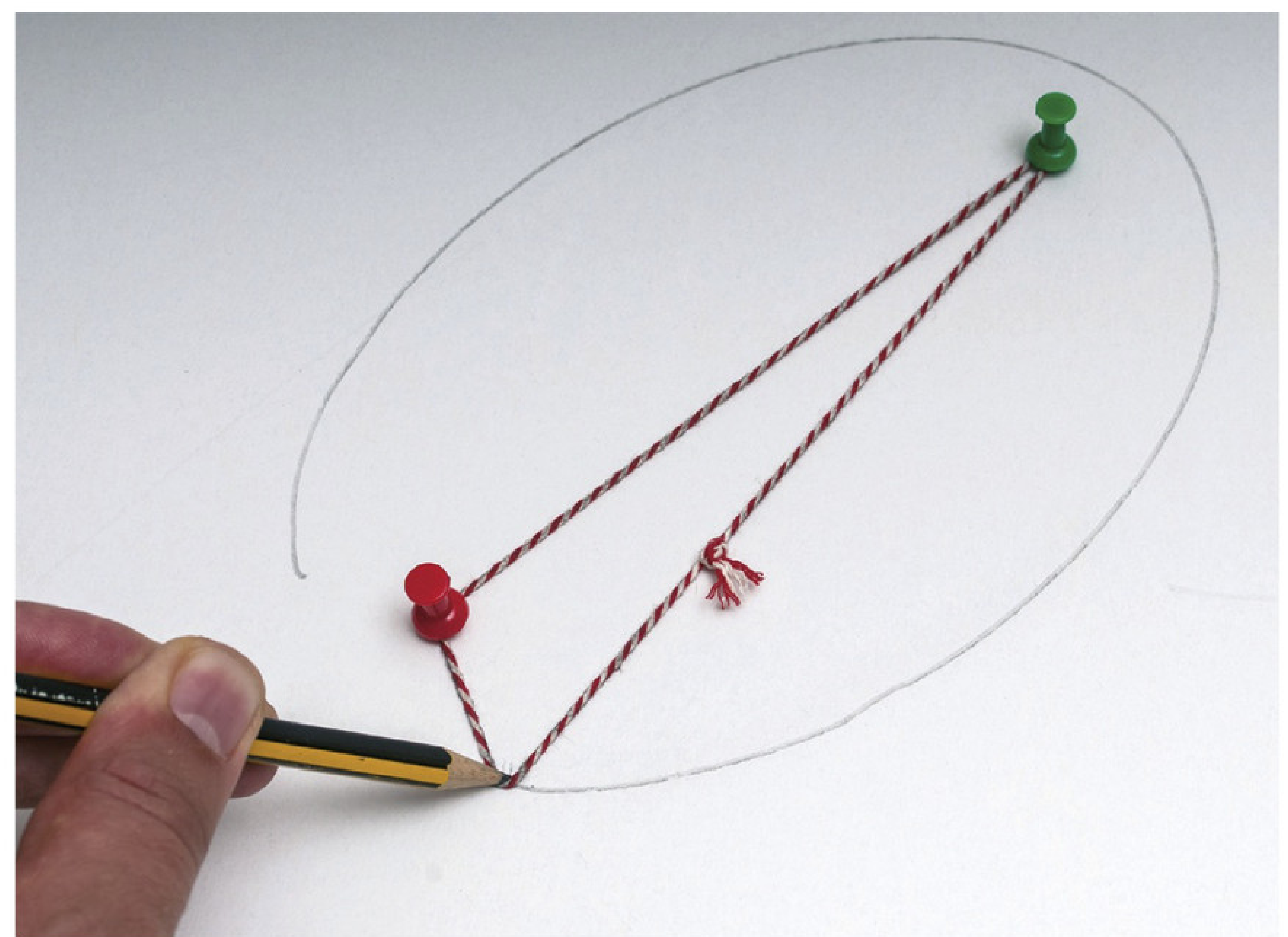
Het zonnestelsel

In figuur 28 zie je dicht bij de zon vier kleine planeten: Mercurius, Venus, aarde en Mars. Ze zijn relatief klein en hebben een rotsachtig oppervlak. De planeten Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus zijn veel groter. Ze bestaan grotendeels uit gassen en hebben geen oppervlak waarop je kunt lopen.
Planeten zijn heel klein in vergelijking met de enorme afstanden in het zonnestelsel. De diameter van de aarde is 'maar' 13 duizend km, terwijl de afstand tot de zon wel 150 miljoen km is. Figuur 28 kun je daarom niet op schaal tekenen. Je zou dan de planeten niet kunnen zien, en de zon zou niet meer zijn dan een stipje.

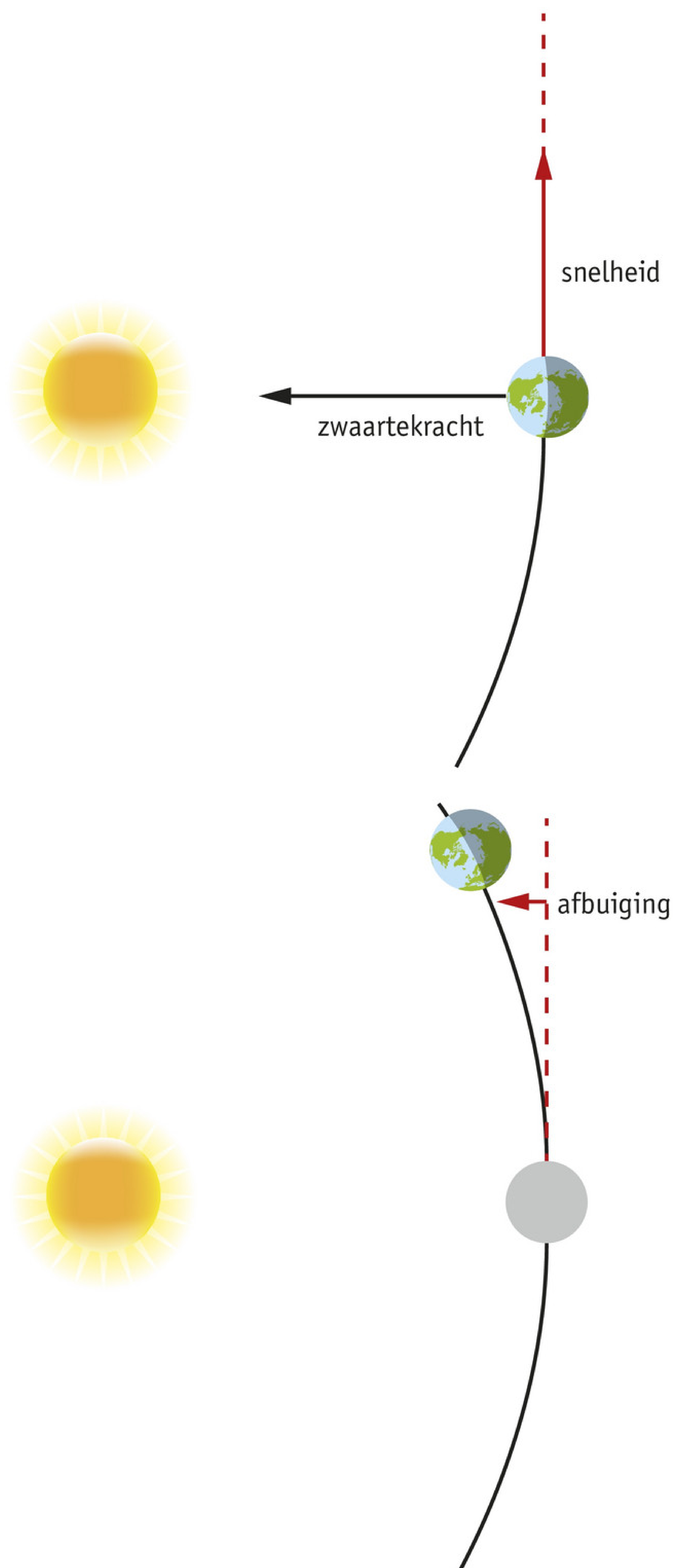
De planeten draaien in elliptische (ellipsvormige) banen rond de zon. Een ellips is een wiskundige figuur die eruitziet als een afgeplatte cirkel. In figuur 29 zie je hoe je een ellips kunt tekenen met twee punaises, een touwtje en een potlood. De punaises zitten in het **brandpunt** van de ellips. Hoe kleiner de afstand tussen de brandpunten, des te meer lijkt de ellips op een cirkel. De banen van de planeten in ons zonnestelsel zijn bijna cirkelvormig.



▲ **figuur 28**
het zonnestelsel (niet op schaal)



▲ **figuur 29**
Zo teken je een ellips.



▲ **figuur 30**
het effect van de zwaartekracht op de beweging van een planeet

De zwaartekracht in het zonnestelsel

De Engelse natuurkundige Isaac Newton vroeg zich af waardoor een planeet niet het heelal in vliegt, maar rond de zon blijft draaien. Zijn antwoord was dat een planeet wordt aangetrokken door de zon, net zoals een appel wordt aangetrokken door de aarde. Dat was geniaal, omdat hij daarmee simpele processen op aarde verbond met wat zich in het heelal afspeelt. In beide gevallen geeft de zwaartekracht een verklaring.
De zwaartekracht werkt niet alleen tussen zon en planeten, maar ook tussen de zonnestelsels onderling en zelfs tussen sterrenstelsels. In het heelal noem je de zwaartekracht ook wel de **gravitatiekracht** (gravitatie komt van het Latijnse *gravis* = 'zwaar').

Maar als de zon een planeet aantrekt, waarom valt die planeet dan niet op de zon, net zoals de appel naar de aarde valt? Dat komt doordat de planeet met grote snelheid langs de zon beweegt. In figuur 30 is getekend hoe dat werkt. De zwaartekracht staat (bijna) loodrecht op de bewegingsrichting van de planeet. Daardoor buigt de planeet af in de richting van de zwaartekracht. De zwaartekracht blijft voortdurend (bijna) loodrecht op de beweging staan en laat de planeet voortdurend afbuigen. Die krijgt daardoor zijn ellipsvormige baan rond de zon. Om een voorwerp in een ellips- of een cirkelvormige baan te laten draaien, heb je dus een kracht naar het middelpunt nodig. Die kracht noem je de **middelpuntzoekende kracht**.
In figuur 31 zie je een kogelslingeraar. De kogel verandert van richting door de spankracht in het touw. De spankracht is hier dus de middelpuntzoekende kracht.



▶ **figuur 31**
Er is een kracht naar het middelpunt nodig om de kogel steeds van richting te laten veranderen.



▲ **figuur 32**
een springende astronaut op de maan in april 1972

De zwaartekracht op de planeten

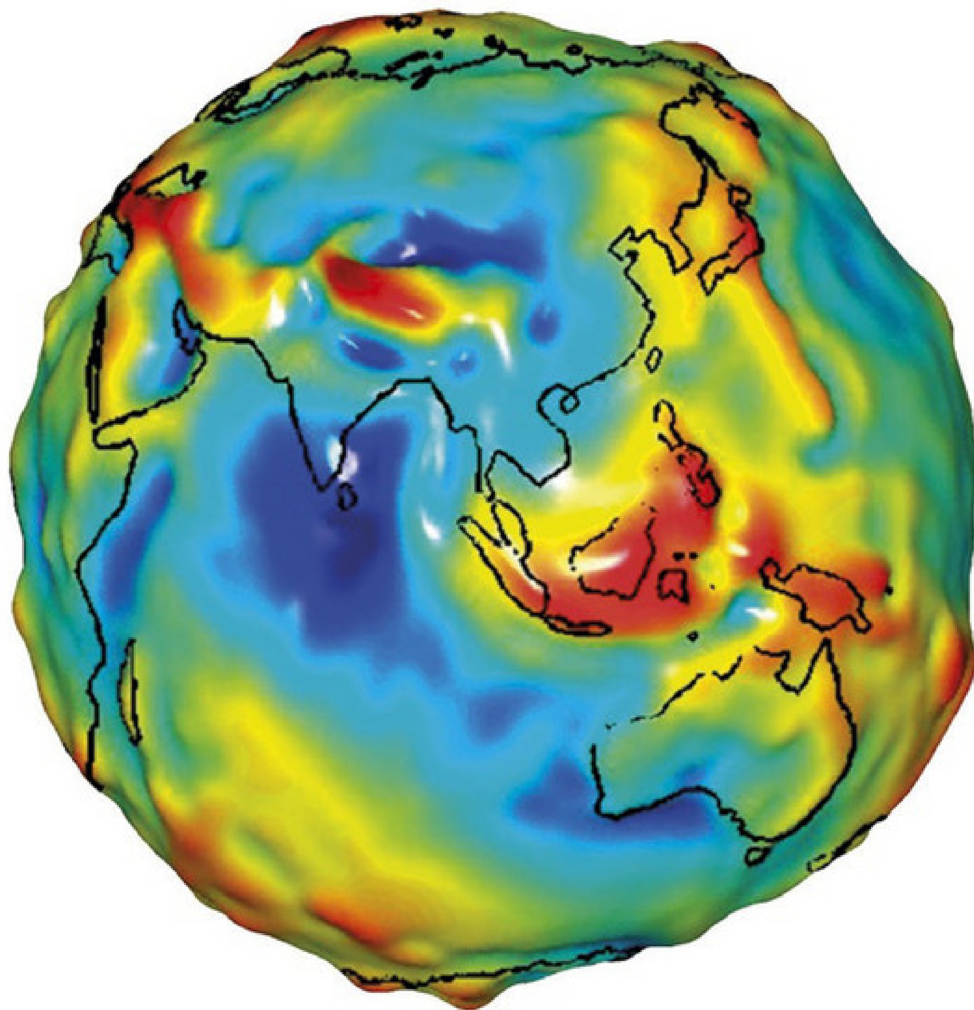
De zwaartekracht op het oppervlak van een kleine planeet is kleiner dan die op een grote en zware planeet. Op de maan is de zwaartekracht maar een zesde van de waarde op aarde. Je kunt dat ook zien aan de video-opnamen die op de maan zijn gemaakt (figuur 32). De astronauten maken heel grote stappen. Als ze van een rotsblok afspringen, komen ze ook veel zachter neer. Het lijkt wel of ze in slow motion bewegen. Op de planeet Jupiter zou dat niet lukken; daar is de zwaartekracht 2,5× zo groot als op aarde.

De zwaartekracht F_z op een voorwerp met massa m kun je berekenen met de formule:

$$F_z = m \cdot g$$

De constante g is de kracht op een massa van 1,0 kg. Op het oppervlak van de aarde is g = 9,8 N/kg, op de maan is dat 1,6 N/kg en op Jupiter 24,9 N/kg.

In 2009 heeft een satelliet van de European Space Agency (ESA) nauwkeurig de zwaartekracht gemeten op het oppervlak van de aarde (figuur 33). Die bleek niet overal even sterk te zijn. Dat komt onder andere doordat de dichtheid van de aardkorst niet overal even groot is. Ook is de aarde niet precies rond maar een beetje afgeplat. Daardoor is de zwaartekracht aan de polen (g = 9,83 N/kg) wat groter dan aan de evenaar (g = 9,78 N/kg). Als je dat afrondt, zie je dat g overal 9,8 N/kg is.



▲ **figuur 33**
variaties in de sterkte van de zwaartekracht op aarde

Zwaartekracht en gewicht

De zwaartekracht is niet hetzelfde als het **gewicht**. Als je op een weegschaal staat, meet die de kracht die je op die weegschaal uitoefent. Als je door je knieën zakt of omhoog springt, zie je het getal op de weegschaal veranderen. Dan verandert je gewicht. Maar je massa en de zwaartekracht daarop blijven natuurlijk even groot. Het gewicht G is dus de kracht op de ondersteuning: een vloer, een touw, je handen, enzovoort. Als een voorwerp stilstaat of eenparig beweegt, is het gewicht even groot als de zwaartekracht. In formulevorm:

$$G = F_z = m \cdot g$$

Voorbeeldopgave 3
De astronaut in figuur 32 heeft met zijn pak aan een massa van 162 kg. Bereken het gewicht van de astronaut als hij op de maanbodem staat.

gegevens m = 162 kg
g = 1,6 N/kg

gevraagd G = ?

uitwerking $G = F_z = m \cdot g = 162 \times 1{,}6 = 259$ N

Gewichtloosheid

Als je een sprong maakt, is je lichaam even in **vrije val**. Omdat je lichaam nergens op steunt, ben je even gewichtloos. Bij een skydive of een paraboolvlucht (figuur 34) duurt de vrije val langer en voel je daardoor echt de gewichtloosheid.
Op een ruimtevaartuig in een baan rond de aarde werkt alleen de zwaartekracht. Die zorgt voor de middelpuntzoekende kracht waardoor het ruimtevaartuig in een baan rond de aarde kan draaien. Het ruimtevaartuig heeft geen ondersteuning en is dus gewichtloos. Voor de mensen in het ruimtevaartuig geldt hetzelfde. Dat zie je als een ruimtevaarder buiten het ruimteschip een reparatie moet uitvoeren. Dan blijft hij naast het ruimtevaartuig zweven.

▼ **figuur 34** gewichtloosheidstraining voor toekomstige astronauten

Paraboolvlucht

Als je er wat geld voor over hebt, kun je genieten van een geweldige attractie: de paraboolvlucht. Tijdens zo'n vlucht vliegt de piloot steil omhoog en laat daarna het vliegtuig gedurende zo'n twintig seconden een vrije val maken. In die tijd heerst aan boord gewichtloosheid, of met de officiële term: microgravitatie. Eén vlucht bestaat uit dertig van die parabolen. Met zulke vluchten kunnen toekomstige astronauten wennen aan de gewichtloosheid.

Bron: De nieuwe ster



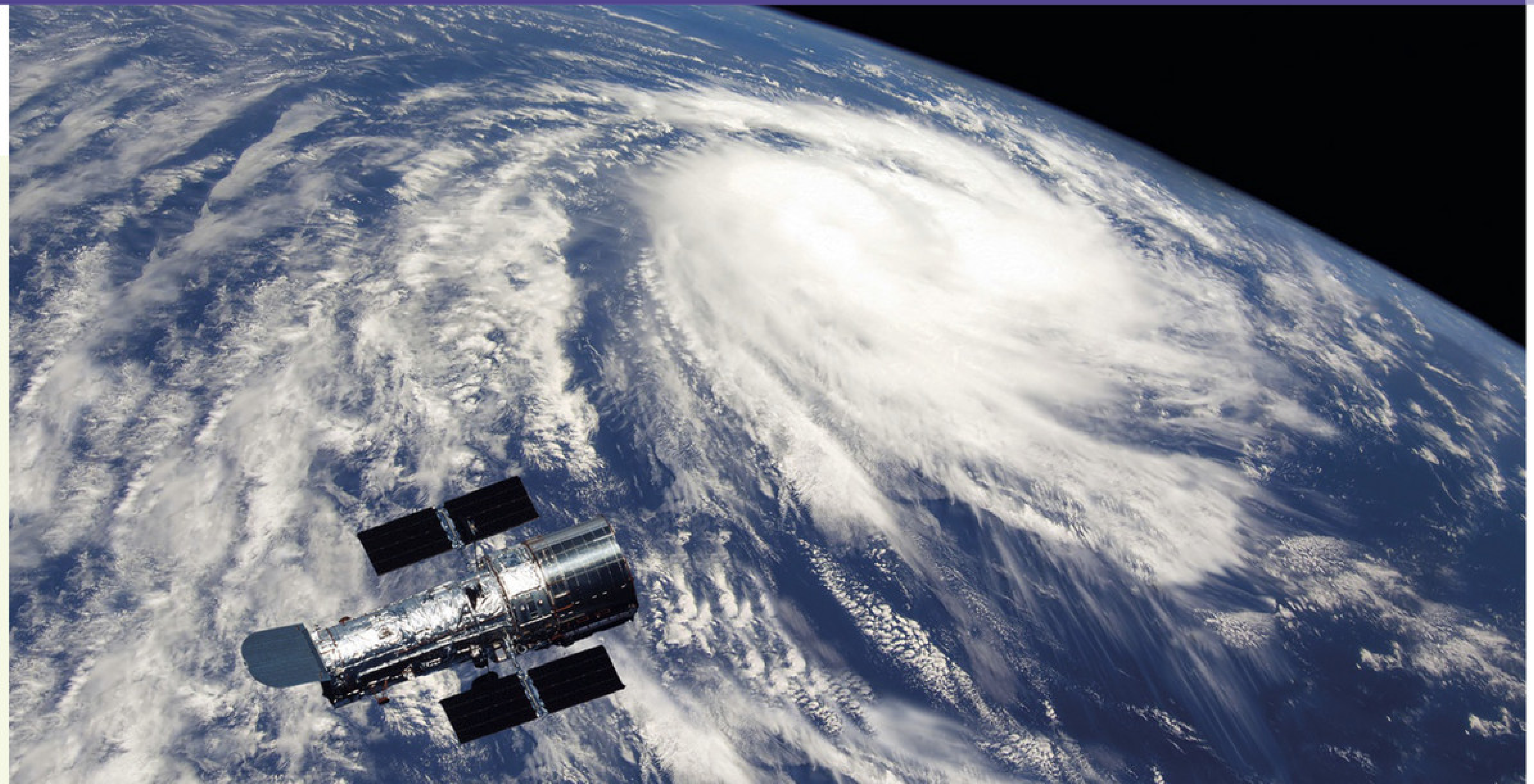
Plus De middelpuntzoekende kracht

Om een voorwerp in een cirkelbaan te laten bewegen, is dus een middelpuntzoekende kracht F_{mpz} nodig. De grootte van die kracht hangt af van de snelheid, de massa van het voorwerp en de straal van de baan. Bij een zwaar voorwerp en een hoge snelheid moet de kracht groot zijn. Bij een baan met een grote straal is een kleine kracht voldoende.

De middelpuntzoekende kracht is altijd naar het midden van de cirkel gericht. De grootte van deze kracht kun je berekenen met de formule:

$$F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Als je de massa m invult in kg, de snelheid v in m/s en de straal r in m, vind je F_{mpz} in N.



▶ **figuur 35**
een satelliet

Voorbeeldopgave 4
Een satelliet van 720 kg (figuur 35) draait rondjes boven de evenaar met een snelheid van 27 000 km/h. De satelliet bevindt zich op 680 km boven de aarde. De straal van de aarde is bij de evenaar 6370 km. Bereken de zwaartekracht waarmee de aarde aan de satelliet trekt.

gegevens $m = 720$ kg
$v = 27\,000$ km/h = 7500 m/s
$r = 6370 + 680 = 7050$ km = 7 050 000 m

gevraagd $F_z = ?$

uitwerking $$F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{720 \times 7500^2}{7\,050\,000} = 5745 \text{ N}$$

Dan is dus $F_z = F_{mpz} = 5745$ N = 5,75 kN.

opgaven

26 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe komt het dat een planeet niet op de zon valt?
- **b** Welke kracht levert de middelpuntzoekende kracht die de planeten in hun baan houdt?
- **c** Wat is het verschil tussen een cirkel en een ellips?
- **d** Wat is het verschil tussen de massa en het gewicht van een voorwerp?

27 Geef een voorbeeld van een situatie:
- **a** waarin je gewicht en de zwaartekracht op je lichaam even groot zijn.
- **b** waarin je gewicht en de zwaartekracht op je lichaam verschillend zijn.

28 Het wereldrecord gewichtheffen van de Iraniër Hossein Rezazadeh staat al sinds 2004 op 263 kg.
- **a** Leg uit op welke plek op aarde je het best een poging kunt doen om dit record te verbreken.
- **b** De zwaartekracht in Noord-Friesland (g = 9,8134 N/kg) is iets groter dan in Zuid-Limburg (g = 9,8112 N/kg).
  Bereken het voordeel dat een gewichtheffer in Zuid-Limburg heeft bij het heffen van een halter van 263 kg.

Geroosterde planeet

Een van de planeten buiten ons zonnestelsel komt zo dicht bij zijn zon dat hij in een paar uur een opwarming van wel 700 graden Celsius meemaakt. De planeet – een gasreus met de creatieve naam HD 80606b – bevindt zich op zo'n tweehonderd lichtjaar van de aarde, is ongeveer vier keer zo zwaar als Jupiter en draait in 111 aardse dagen om zijn zon.
De baan van deze planeet heeft de vorm van een ellips met de ster in een van de brandpunten. Het ene moment staat de planeet zo ver weg als de aarde van de zon af staat, het andere moment staat hij op maar een dertigste van deze afstand.

Bron: www.wetenschap24.nl/nieuws/artikelen/2009/januari/Geroosterde-planeet.htm

▲ **figuur 36**
een exoplaneet met een exotische baan

***29** Sterrenkundigen drukken afstanden vaak uit in astronomische eenheden (AE). Eén astronomische eenheid is gelijk aan de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon.

a Met hoeveel km komt 1 AE overeen?
b In een model van het zonnestelsel heeft het bolletje dat de aarde voorstelt een diameter van 1,3 cm.
Bereken de afstand tussen de zon en de aarde in dit model.
c Neptunus, de achtste en tevens verste planeet, staat gemiddeld op 4,5 miljard km van de zon.
Druk deze afstand uit in AE.
d Voor nog grotere afstanden gebruiken astronomen de eenheid lichtjaar.
Zoek de snelheid van licht op en reken uit hoeveel km één lichtjaar is.

30 Exoplaneten zijn planeten die om een andere ster draaien dan de zon. De afgelopen jaren zijn er honderden van die exoplaneten ontdekt. Sommige van deze planeten hebben sterk elliptische banen (figuur 36).

a Schets hoe de baan van exoplaneet HD 80606b eruitziet en teken de ster in het brandpunt.
b Hoe verschilt deze baan van de planeetbanen in ons zonnestelsel?
c Noem twee redenen waarom er op deze planeet geen leven zal voorkomen.

***31** Satellieten draaien rond de aarde net als planeten rond de zon. Een satelliet in een 'low Earth orbit' (LEO) draait zijn rondjes op een hoogte van 160 tot 2000 km boven het aardoppervlak. Hij wordt daarbij enigszins afgeremd door de extreem ijle atmosfeer op die hoogte.
Leg uit:

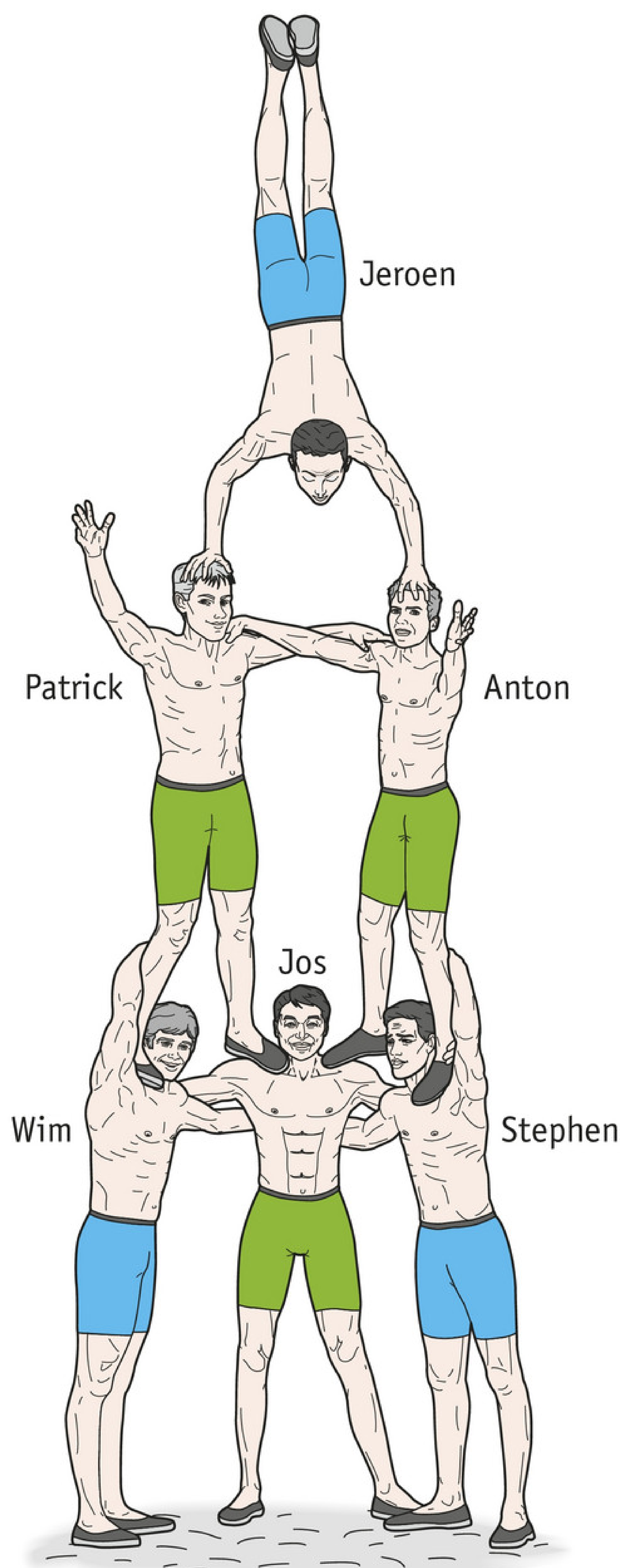
a hoe de baan van de satelliet verandert als hij iets aan snelheid verliest.
b of hij in zijn nieuwe baan meer, evenveel of juist minder wordt afgeremd.
c wat het uiteindelijke lot van de satelliet zal zijn als zijn brandstof op raakt.

***32** Elke planeet in ons zonnestelsel heeft zijn eigen waarde voor g.

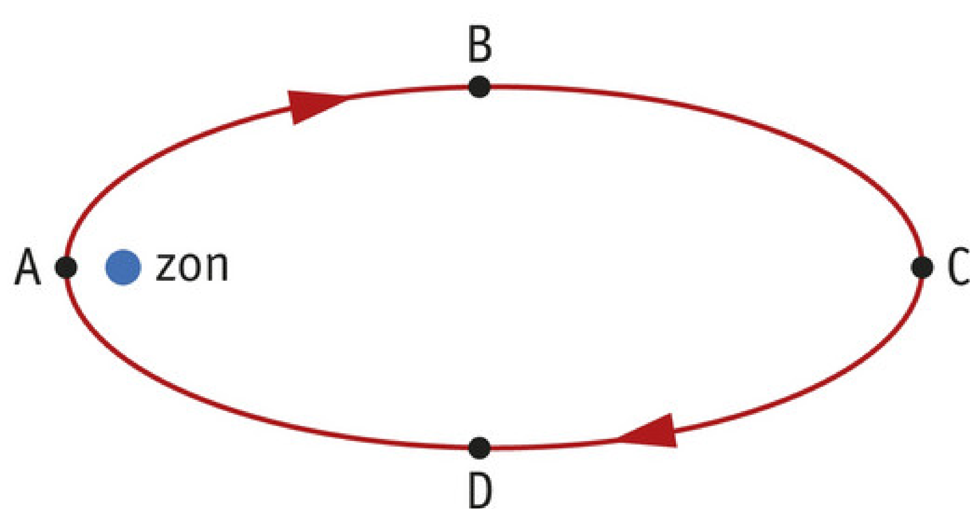
a Zoek de waarde van g op Mars op.
b Vergelijk de massa's van de aarde en Mars.
Kun je hiermee het verschil in zwaartekracht verklaren?
c Je kunt digitale weegschalen kopen die naar keuze de massa in kg of het gewicht in N weergeven (figuur 37).
Hoe kan het dat het apparaat uit een meetresultaat ook de massa kan afleiden?
d Hoeveel kg geeft dit apparaat aan als je er op Mars een voorwerp van 10 kg aan zou hangen?



▲ **figuur 37**
een digitale weegschaal



▲ **figuur 38**
een circusact



▲ **figuur 39**
de baan van een komeet rond de zon

33 In het circus zijn zes acrobaten met een act bezig (figuur 38). Jeroen (70 kg) is perfect in evenwicht.
- **a** Welke drie krachten werken er op dat moment op zijn lichaam?
- **b** Hoe noem je de kracht die Jeroen op Patricks hoofd uitoefent?
- **c** Hoe groot is die kracht ongeveer? Leg uit hoe je dat beredeneert.
- **d** Jeroen springt even later naar beneden met een anderhalve salto. Leg uit of daarbij:
  - de zwaartekracht op zijn lichaam verandert.
  - het gewicht van zijn lichaam verandert.

***34** Op 21 juli 1969 liep Neil Armstrong als eerste mens op de maan. Zijn lichaam en zijn ruimtepak hadden samen een massa van 160 kg.
- **a** Bereken het gewicht van Neil Armstrong op de maan.
- **b** Beredeneer in welke situatie Armstrongs gewicht groter was: met ruimtepak op de maan of zonder ruimtepak op aarde?

35 Bij ons zonnestelsel hoort ook een aantal kometen. In figuur 39 zie je een komeet die in een wijde ellips om de zon draait. De zon staat in een van de twee brandpunten.
- **a** Op welke plaats is de gravitatiekracht het grootst en waar is die het kleinst?
- **b** Leg uit waarom de beweging in punt B vertraagd is.
- **c** Leg uit waarom de beweging in punt D is versneld.
- **d** Op welke plaats is de snelheid het grootst en waar is die het kleinst?

Plus De middelpuntzoekende kracht

36 Welke kracht zorgt voor de middelpuntzoekende kracht in de volgende situaties?
- **a** Je zit in een stoeltje van een ronddraaiende zweefmolen.
- **b** Een auto rijdt door een bocht.
- **c** De maan Europa draait rond Jupiter.

***37** Een satelliet (m = 2100 kg) draait in 6,0 uur om de aarde. De hoogte boven het aardoppervlak is 10 400 km. De straal van de aarde is 6371 km.
- **a** Bereken de afstand van de satelliet tot het middelpunt van de aarde.
- **b** Bereken de snelheid van de satelliet.
- **c** Bereken de middelpuntzoekende kracht op de satelliet.

***38** Je hebt geleerd dat je gewicht even groot is als de zwaartekracht als je stilstaat. Maar is dat eigenlijk wel zo? Een deel van de zwaartekracht is toch nodig om ervoor te zorgen dat je met de aarde meedraait?
- **a** Bereken de omtrek van de aarde langs de evenaar (R_{aarde} = 6371 km).
- **b** Bereken je snelheid op de evenaar door de draaiing van de aarde.
- **c** Bereken de middelpuntzoekende kracht die nodig is voor die draaiing.
- **d** Is de stelling dat $G = F_z$ wel juist?

4 Hefbomen

Je gebruikt elke dag je spierkracht om dingen los te draaien, open te maken en op te tillen. Soms is je spierkracht niet groot genoeg en heb je een werktuig nodig, zoals een deurkruk, een flessenopener, een nijptang of een notenkraker.

Werken met hefbomen

Met de steeksleutel van figuur 40 kun je een moer losdraaien die stevig vastzit. Je gebruikt de sleutel dan als **hefboom**. Zoals elke hefboom heeft ook de steeksleutel een **draaipunt**. Het draaipunt is hier het middelpunt van de moer.
In deze situatie zijn er twee krachten van belang. Je spierkracht werkt op het uiteinde van de steeksleutel, ver van het draaipunt. Hierdoor oefent de sleutel een kracht uit op de moer, dicht bij het draaipunt. Door de hefboom is de kracht op de moer groter dan jouw spierkracht. Daardoor kun je de moer met de steeksleutel gemakkelijk losdraaien.

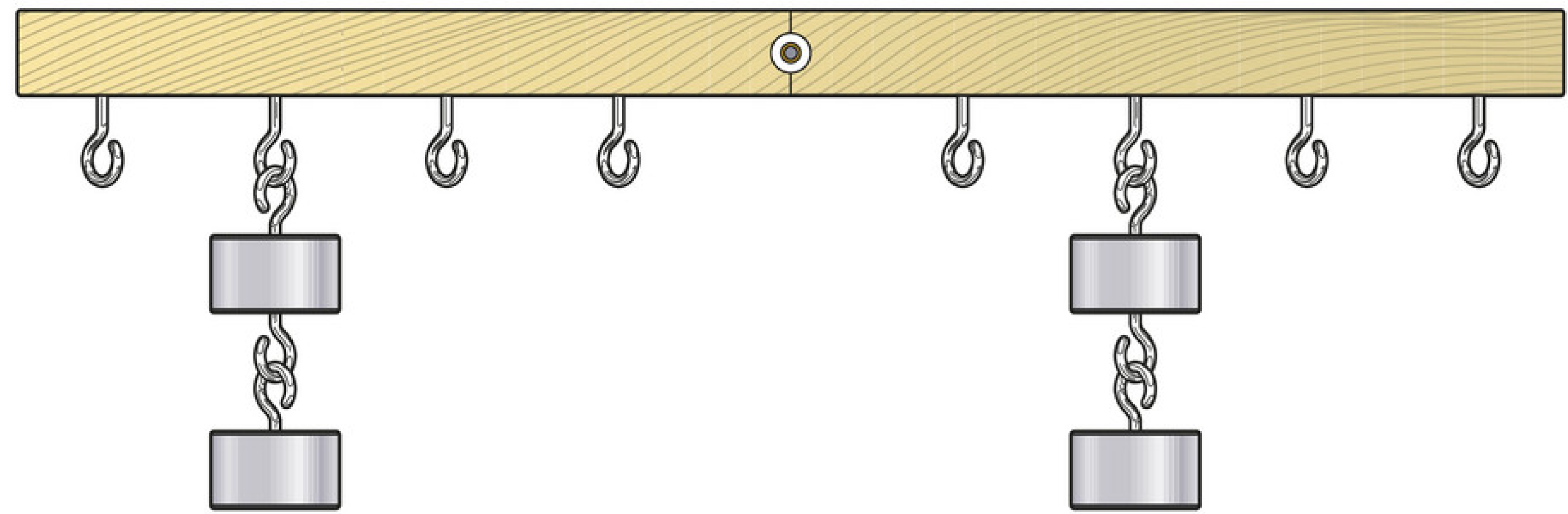


▶ **figuur 40**
Met een steeksleutel krijg je de moer gemakkelijk los.

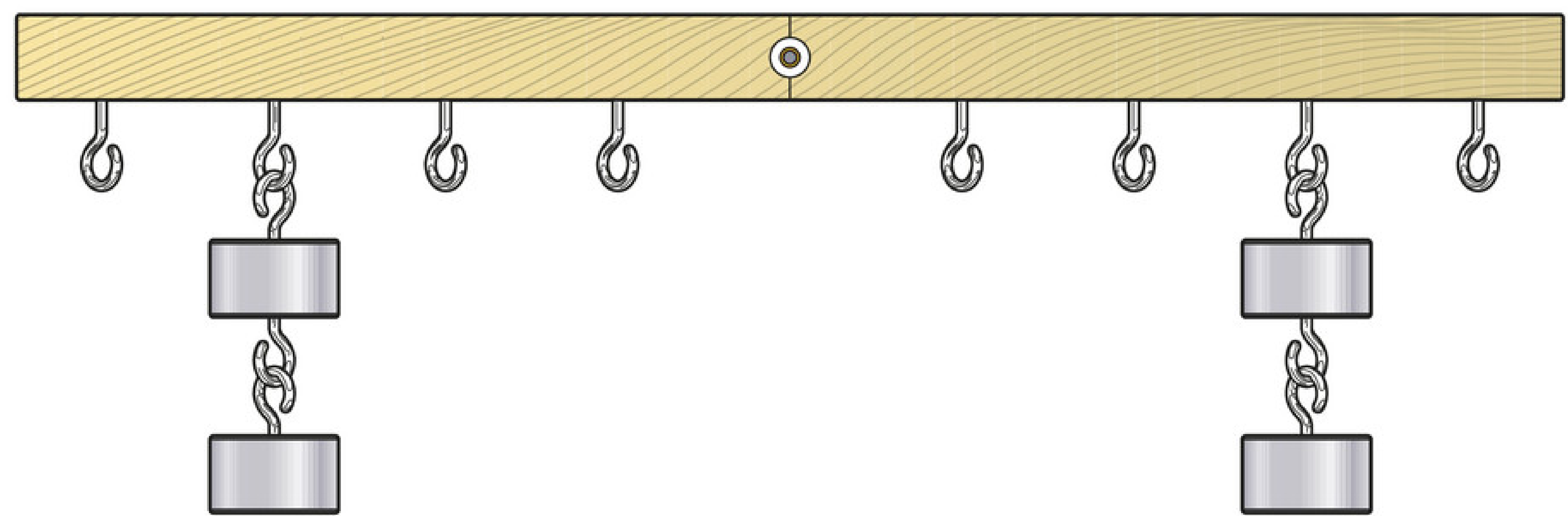
Het moment van een kracht Proef 2 en 3

In figuur 41 zie je een eenvoudige hefboom: een latje dat kan draaien om zijn middelpunt. De hefboom is alleen in evenwicht in situatie b. In situatie a en c gaat de hefboom draaien en is hij dus niet in evenwicht.

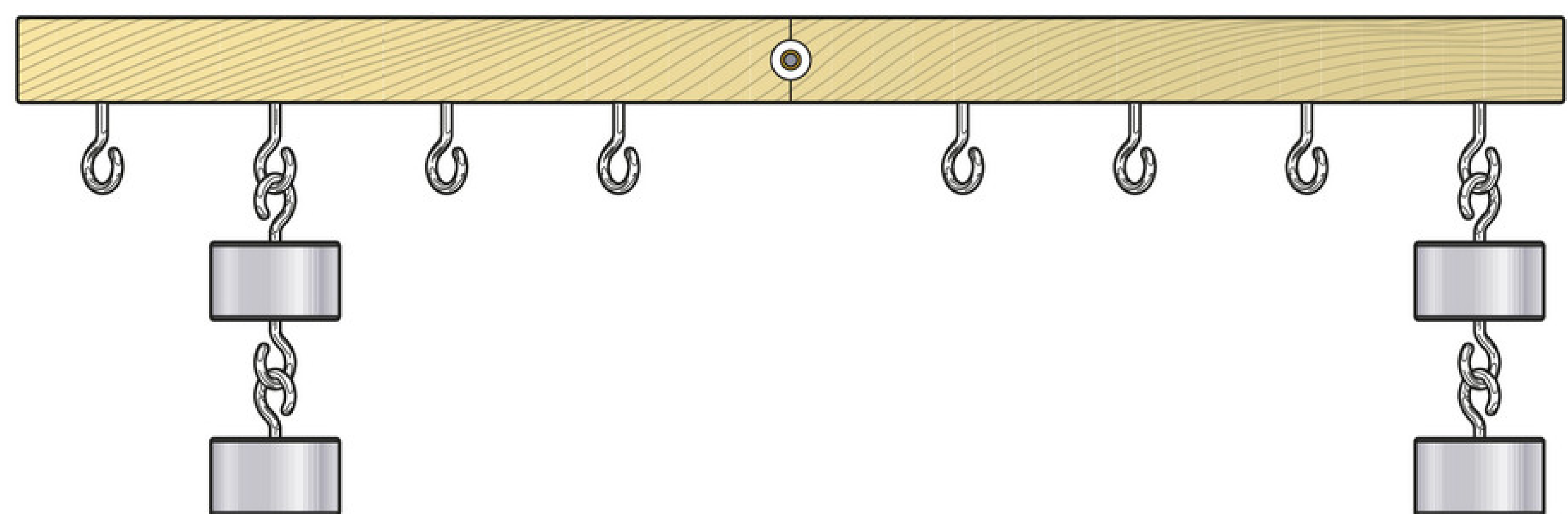
In de drie situaties is het aantal gewichtjes links en rechts van het draaipunt hetzelfde. De krachten op de hefboom zijn dus steeds even groot. Toch is er dan niet altijd evenwicht. In figuur 41 zie je dat het ook belangrijk is *waar* de krachten aangrijpen. Voor evenwicht zijn dus twee factoren van belang: de grootte van de krachten en de afstand tussen de krachten en het draaipunt. Deze afstand wordt de **arm** genoemd.



ⓐ linksom draaien



ⓑ evenwicht



ⓒ rechtsom draaien

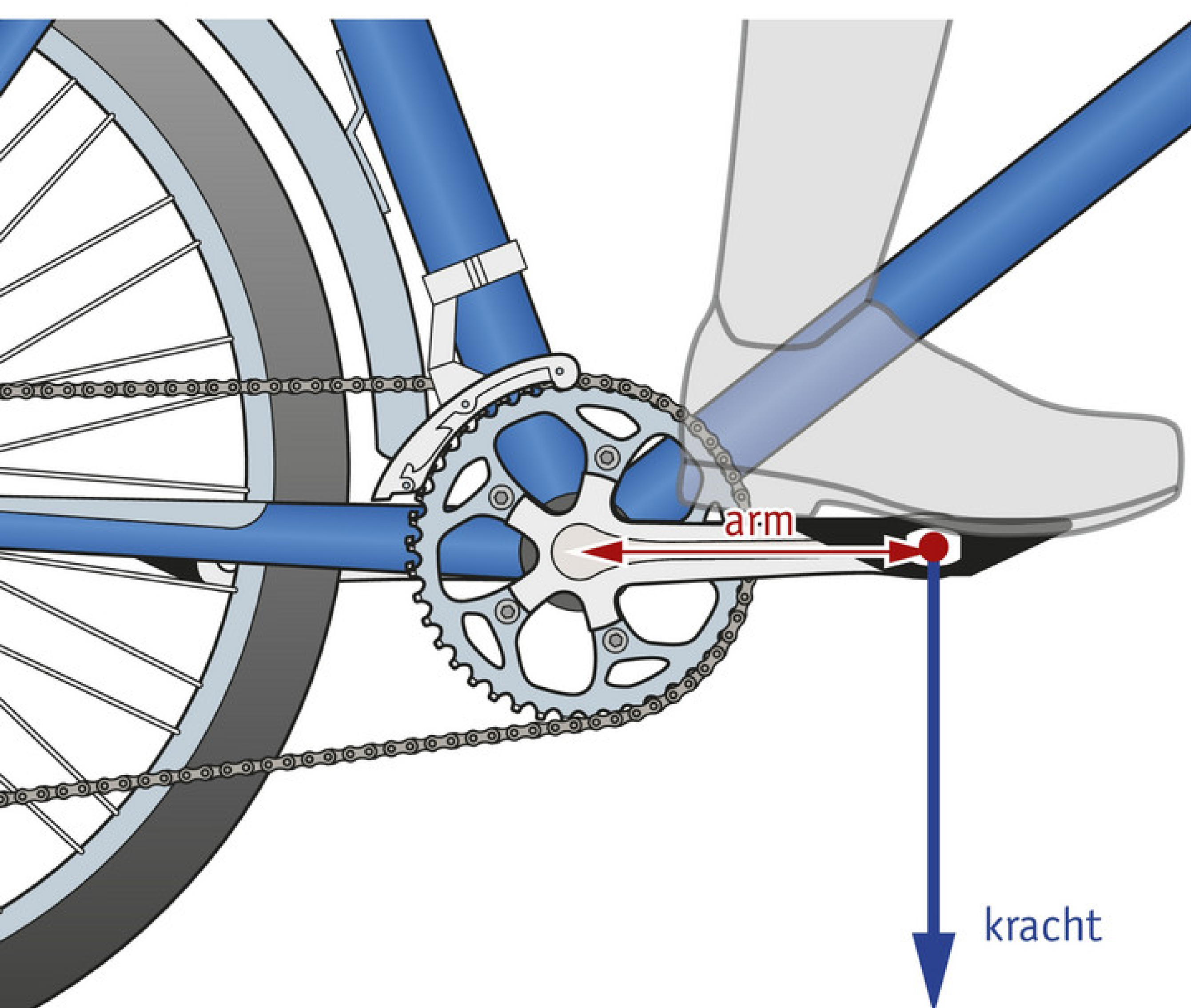
▶ **figuur 41**
een hefboom in drie situaties

Je kunt deze twee factoren combineren tot één begrip: het **moment** *M* van de kracht (moment komt van het Latijnse werkwoord *movere* = 'in beweging brengen'). Daarvoor geldt:

$$M = F \cdot r$$

Als je de kracht *F* invult in N en de arm *r* in m, vind je het moment *M* in newtonmeter (Nm).

Bij het bepalen van de arm moet je letten op de richting van de kracht. De arm *r* is namelijk de kortste afstand tussen de **werklijn** van de kracht en het draaipunt van de hefboom. In figuur 42 zie je dat je de arm loodrecht op de werklijn van de kracht moet meten.



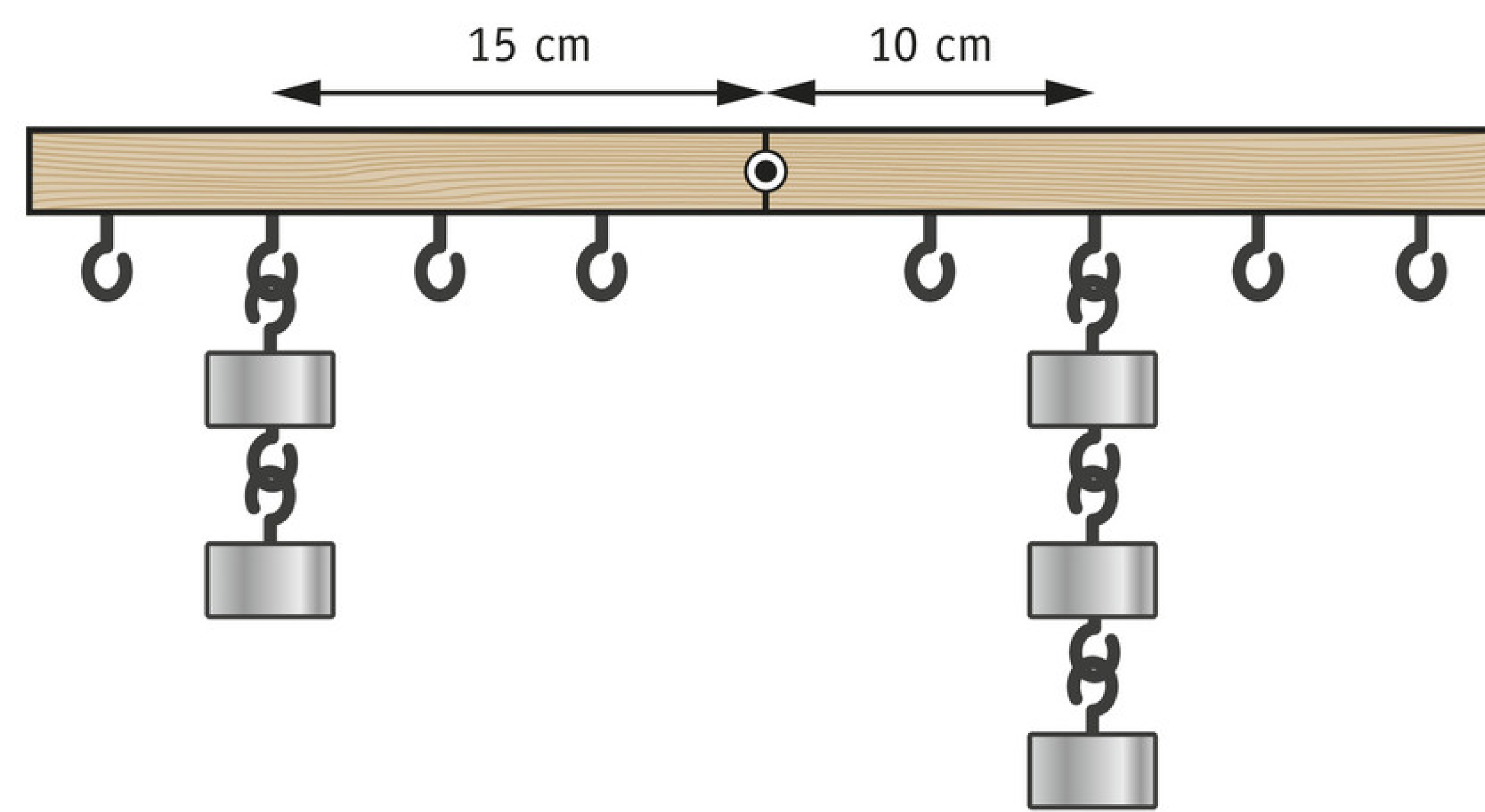
◀ **figuur 42**
Zo kun je de arm van de trapkracht bepalen.

De momentenwet

Op de hefboom in figuur 43 werkt links en rechts van het draaipunt een kracht. De linkerkracht probeert de hefboom tegen de wijzers van de klok in te draaien (linksom). De rechterkracht doet dat met de wijzers van de klok mee (rechtsom). Er is evenwicht als het moment van kracht F_1 (linksom) even groot is als het moment van kracht F_2 (rechtsom). Algemeen geldt: een hefboom is in evenwicht, als de som van de momenten linksom gelijk is aan de som van de momenten rechtsom. In formulevorm:

$$M_1 + M_2 + \dots \text{ (linksom)} = M_1 + M_2 + \dots \text{ (rechtsom)}$$

Deze regel noem je de **momentenwet**.



▶ **figuur 43**
Is de hefboom in evenwicht?

Voorbeeldopgave 5
Ga met een berekening na of de hefboom in figuur 43 in evenwicht is. Elk gewichtje weegt 0,25 N.

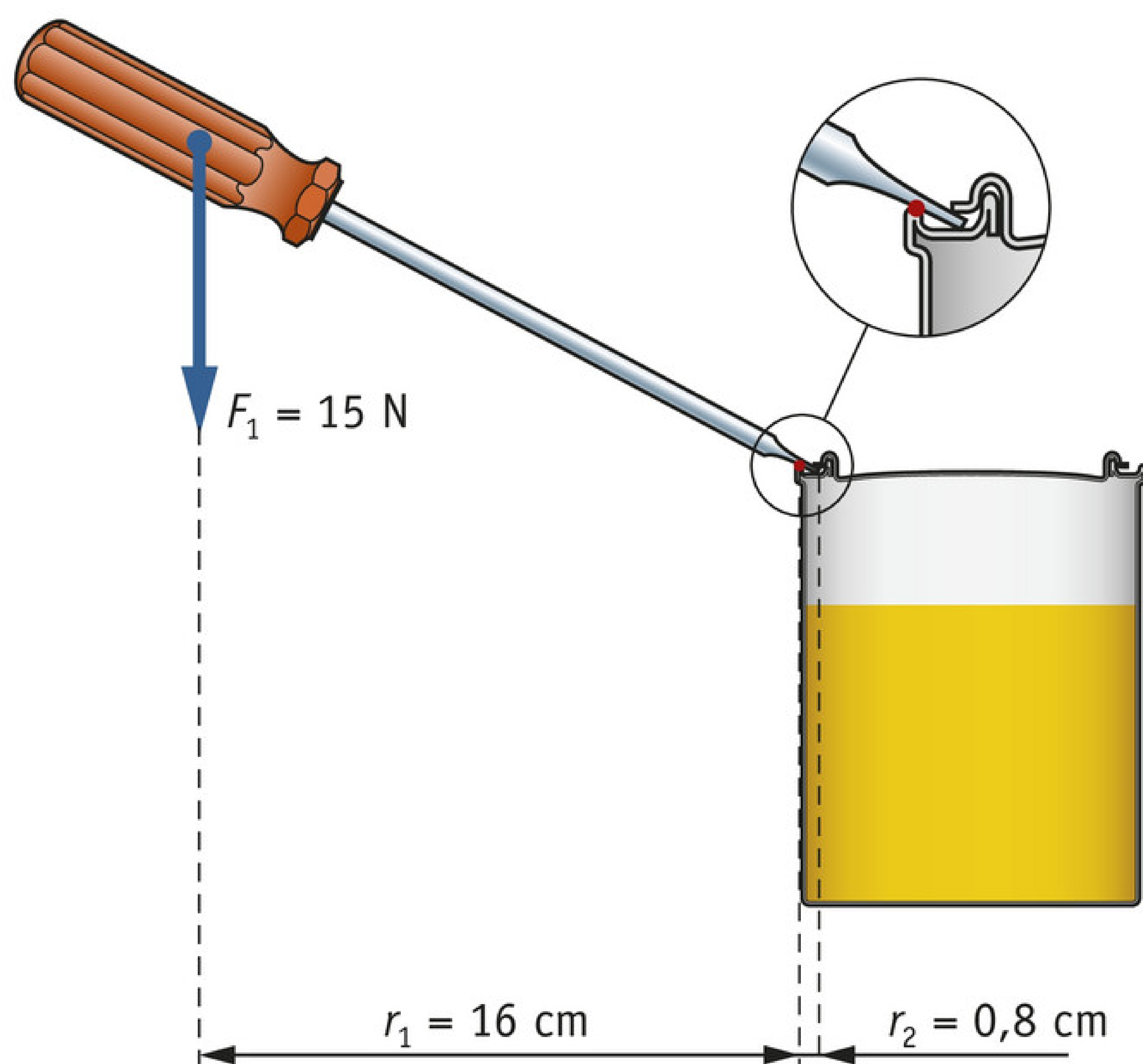
gegevens F_1 = 2 × 0,25 = 0,50 N F_2 = 3 × 0,25 = 0,75 N
r_1 = 15 cm = 0,15 m r_2 = 10 cm = 0,10 m

gevraagd Is M_1 gelijk aan M_2?

uitwerking
$M_1 = F_1 \cdot r_1$
= 0,50 × 0,15
= 0,075 Nm

$M_2 = F_2 \cdot r_2$
= 0,75 × 0,10
= 0,075 Nm

$M_1 = M_2$. De hefboom is dus in evenwicht.

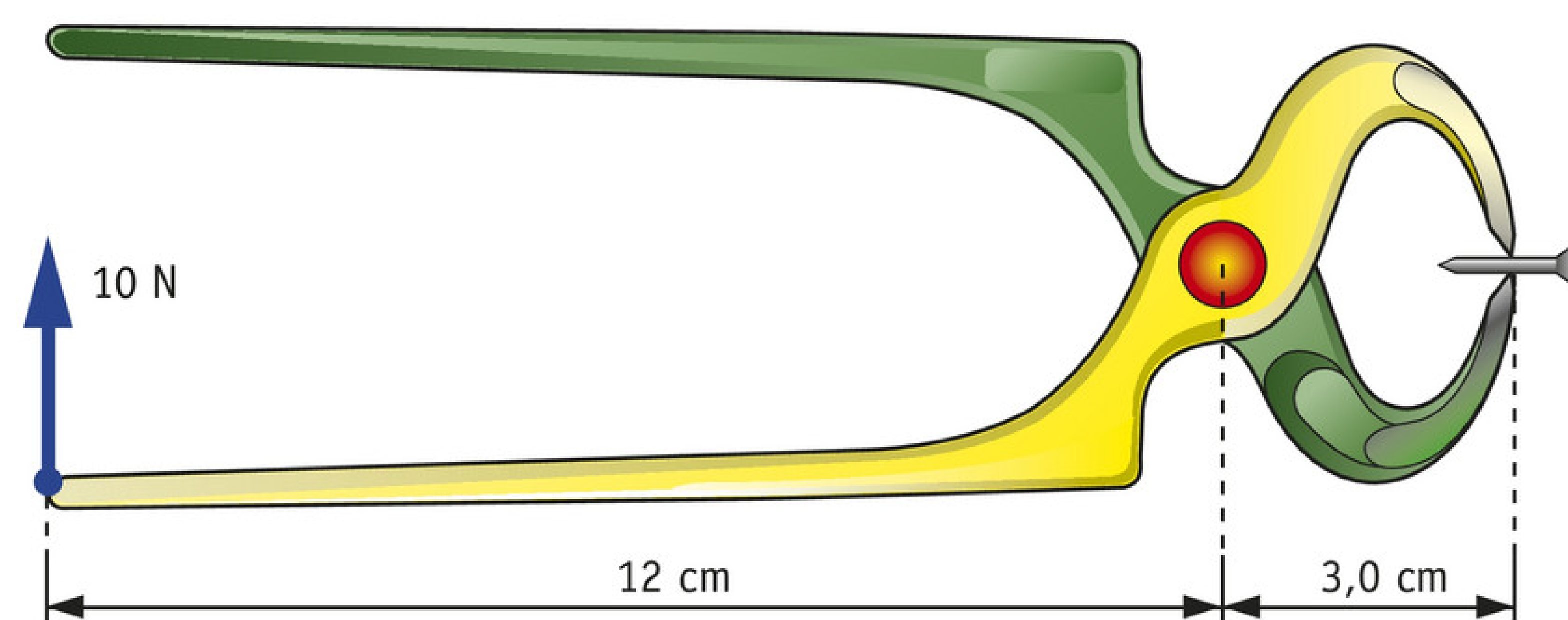


◀ **figuur 44**
een verfblik openmaken met een hefboom

Enkele en dubbele hefbomen

In figuur 44 maak je met een schroevendraaier een verfblik open. Je duwt de schroevendraaier naar beneden met een kracht F_1. Het deksel verzet zich tegen die beweging met een kracht F_2. De twee krachten F_1 en F_2 zijn het grootst vlak voordat het deksel in beweging komt. Op dat moment is er evenwicht en geldt: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$.
De arm van F_1 is 20× zo groot als die van F_2. Dus is F_2 20× zo groot als F_1. Op het deksel werkt daardoor een kracht van 300 N.

Op deze manier werken veel werktuigen: een kleine kracht met een grote arm maakt evenwicht met een grote kracht met een kleine arm. Dat zie je bij gewone hefbomen zoals steeksleutels, flesopeners en bandenlichters, maar ook bij dubbele hefbomen, zoals snoeischaren, notenkrakers en nijptangen (figuur 45).



▶ **figuur 45**
Een nijptang bestaat uit twee hefbomen (hier geel en groen afgebeeld).

Voorbeeldopgave 6
De nijptang in figuur 45 wordt dichtgeknepen met een spierkracht van (twee maal) 10 N.
Bereken de krachten op de spijker.

gegevens $F_1 = 10$ N
$r_1 = 12$ cm
$r_2 = 3{,}0$ cm

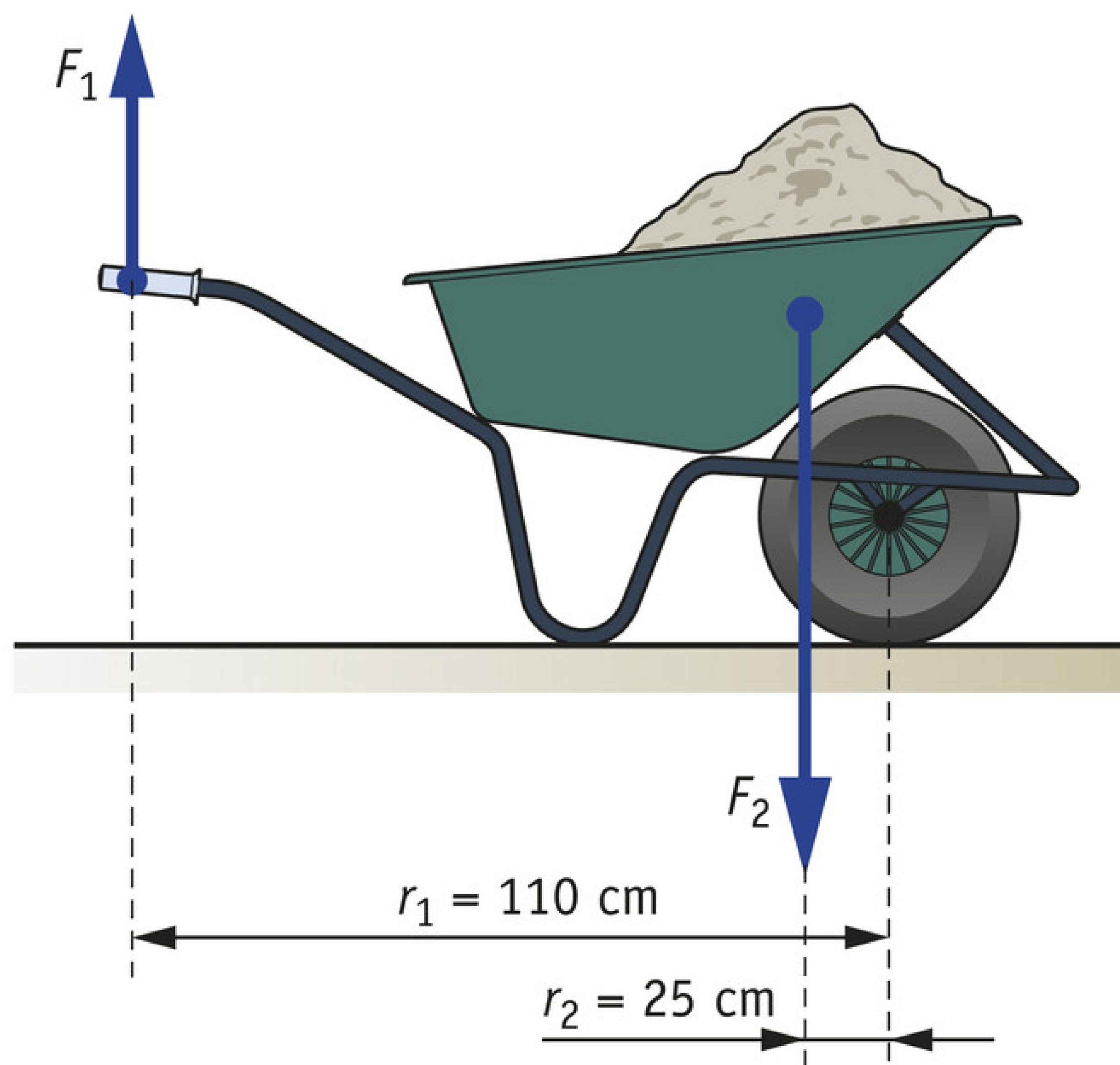
gevraagd $F_2 = ?$

uitwerking Ga uit van evenwicht, dus:
$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$
$10 \times 12 = F_2 \cdot 3{,}0$
$F_2 = 120 : 3{,}0 = 40$ N

Op de spijker werkt dus een kracht van twee maal 40 N.

Hefbomen met het draaipunt aan een uiteinde

Bij de hefboom van figuur 44 ligt het draaipunt tussen de twee krachten F_1 en F_2. Bij de kruiwagen in figuur 46 zit het draaipunt aan een van de uiteinden. Ook dan kun je de hefboomregel toepassen. Let er dan wel op dat je de juiste afstand kiest voor de armen.



▲ **figuur 46**
de krachten op een kruiwagen

Voorbeeldopgave 7
Khair heeft 100 kg zand in de kruiwagen geschept. Nu wil hij de kruiwagen optillen.
Bereken de kracht die daarvoor nodig is.

gegevens: m = 100 kg
r_1 = 110 cm
r_2 = 25 cm

gevraagd: F_1 = ?

uitwerking: $F_2 = m \cdot g = 100 \times 9{,}8 = 980$ N
Ga uit van evenwicht, dus:
$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$
$F_1 \cdot 110 = 980 \times 25$
$F_1 = 24\,500 : 110 = 223$ N

Khair moet dus een kracht uitoefenen van 223 N (in werkelijkheid iets meer, omdat er geen rekening is gehouden met de zwaartekracht op de kruiwagen zelf).

Plus De momentsleutel

Bouten en moeren kun je aandraaien met een steeksleutel (zoals in figuur 40 op bladzijde 30) maar soms mogen ze niet te strak worden aangedraaid. Dat is bijvoorbeeld het geval bij het vastzetten van een lichtmetalen velg op een auto. Deze velgen vervormen als je de bouten te stevig aandraait. Maar bij een autowiel is te slap aandraaien natuurlijk ook niet goed. Fabrikanten van velgen schrijven daarom voor met welk moment bouten moeten worden aangedraaid. Dat geldt ook voor een groot aantal andere auto-onderdelen.

Met een normale sleutel weet je niet hoe groot het moment is dat je uitoefent. Op een momentsleutel kun je voortdurend aflezen hoe groot het moment is. Bovendien hebben veel momentsleutels een ingebouwde beveiliging: als je meer kracht wilt zetten dan de waarde die je van tevoren hebt ingesteld, dan gaat er iets in het mechanisme slippen.

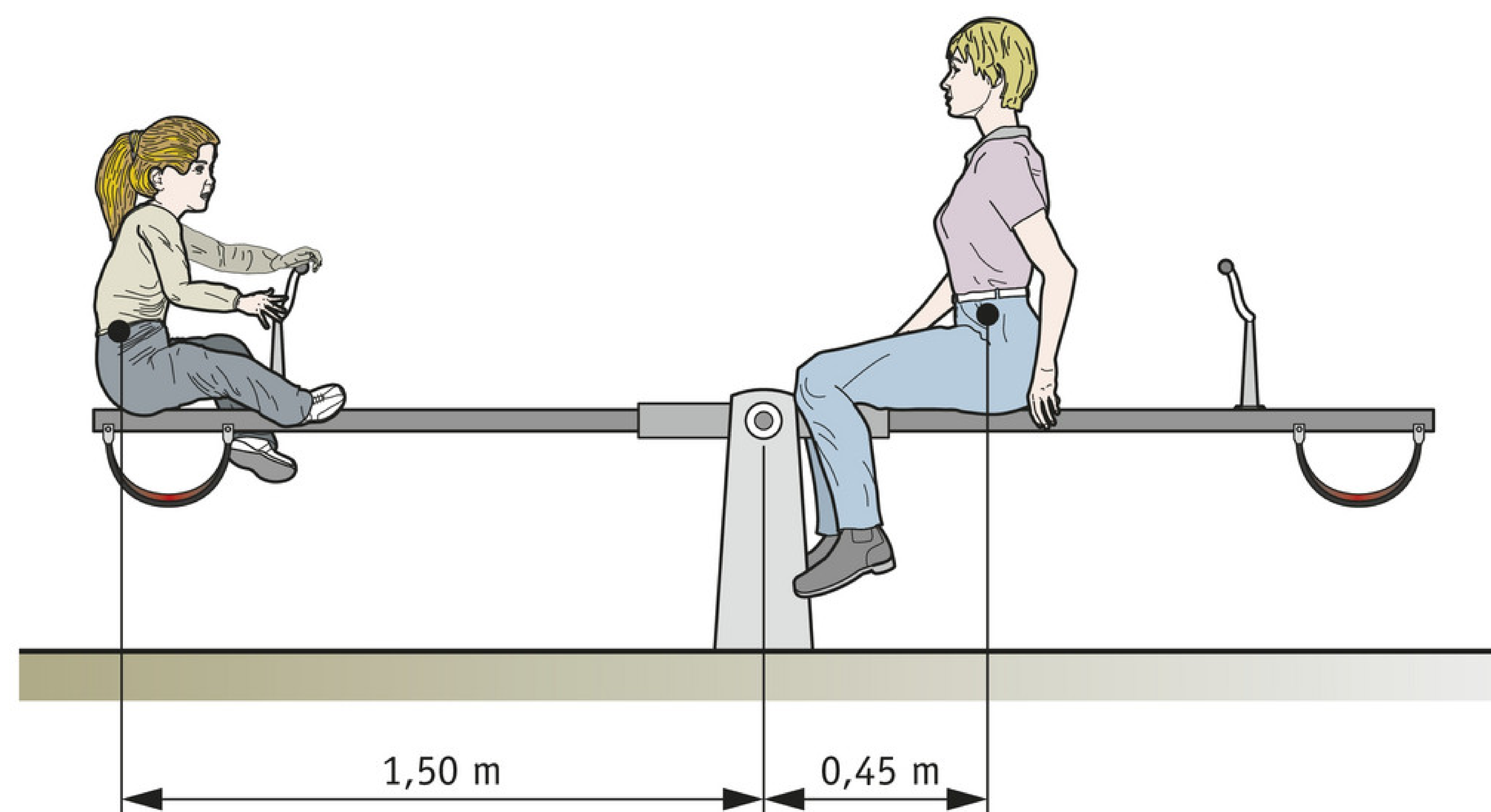


◀ **figuur 47**
het aandraaien van een wiel met een momentsleutel

opgaven

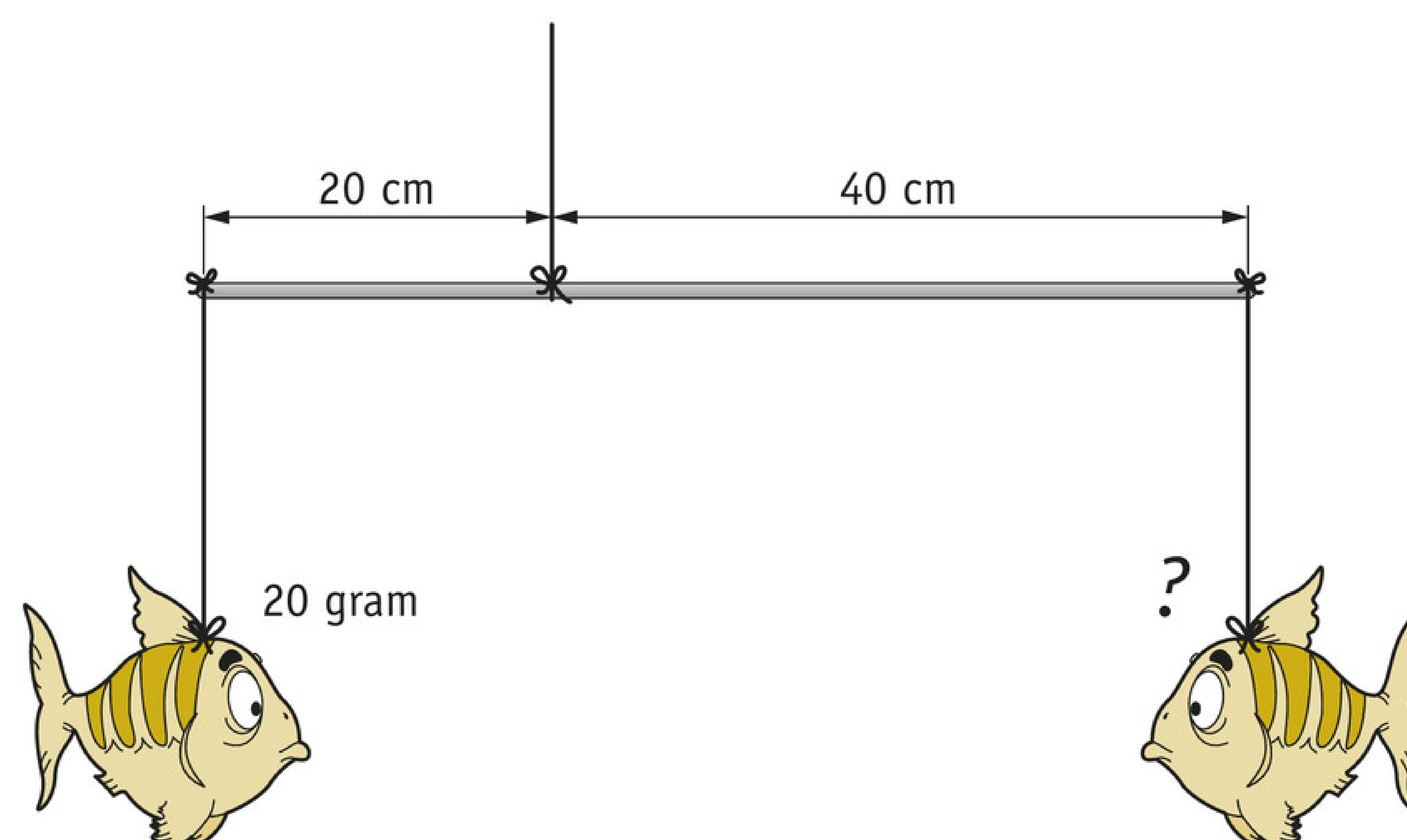
39 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Met welke formule kun je het moment van een kracht berekenen?
- **b** Wat wordt bedoeld met de werklijn van een kracht?
- **c** Geef een voorbeeld van een enkele en van een dubbele hefboom.
- **d** Hoe meet je de arm van een kracht?
- **e** Waarom worden hefbomen veel gebruikt in het dagelijks leven?

***40** Lisette (26 kg) en haar moeder Anneke (80 kg) zitten op een wip (figuur 48).
- **a** Laat met een berekening zien dat de wip niet in evenwicht is.
- **b** Bereken waar Anneke moet gaan zitten om evenwicht te bereiken.



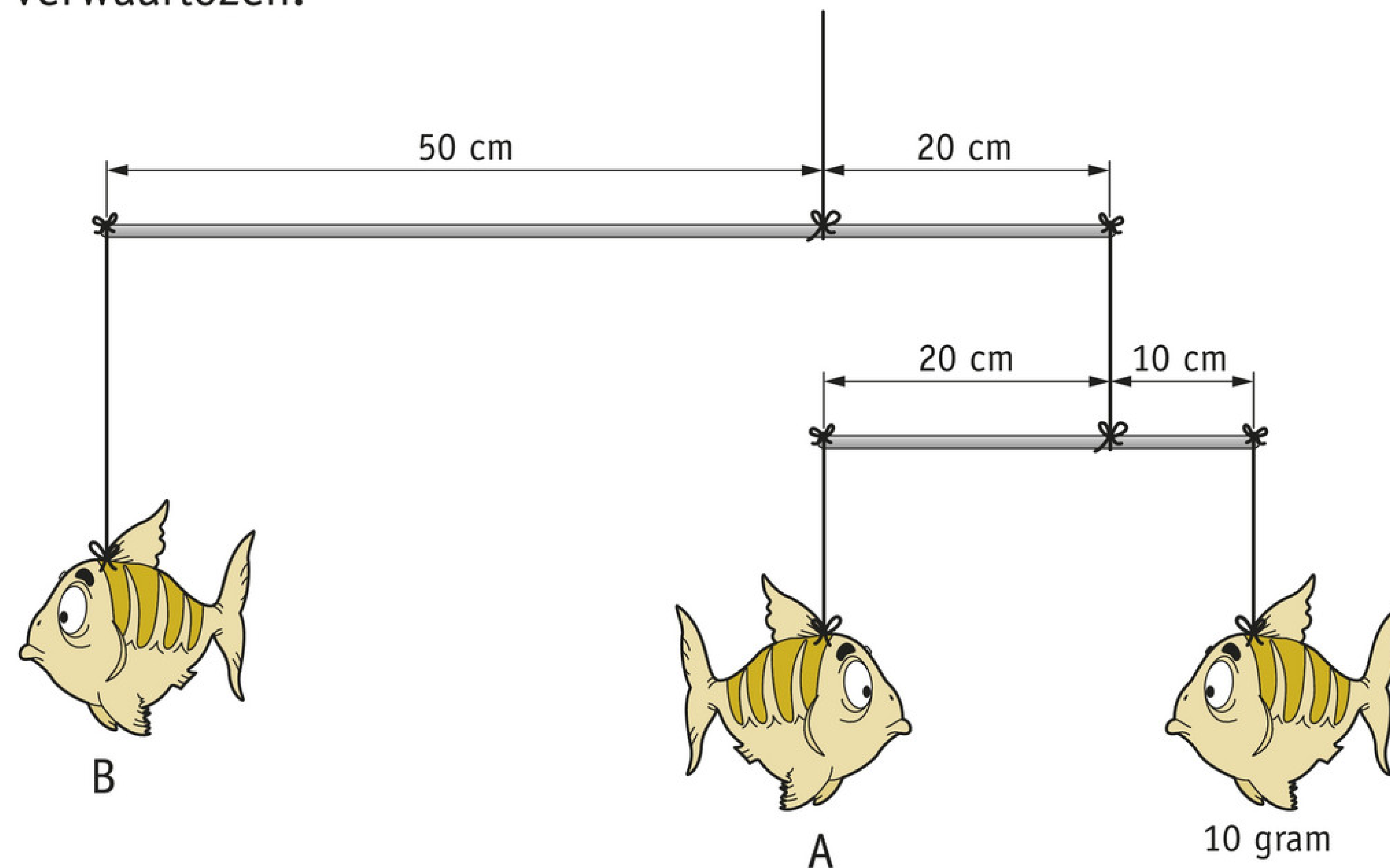
▶ **figuur 48**
Een wip in evenwicht?

41 In figuur 49 zie je een mobile: een stokje waaraan twee papieren vissen hangen.
- **a** Bereken de massa van het rechtervisje als je de massa van het stokje mag verwaarlozen.
- **b** Bereken de massa van rechtervisje als je massa van het stokje (10 g) niet mag verwaarlozen.



▶ **figuur 49**
een mobiel met twee visjes

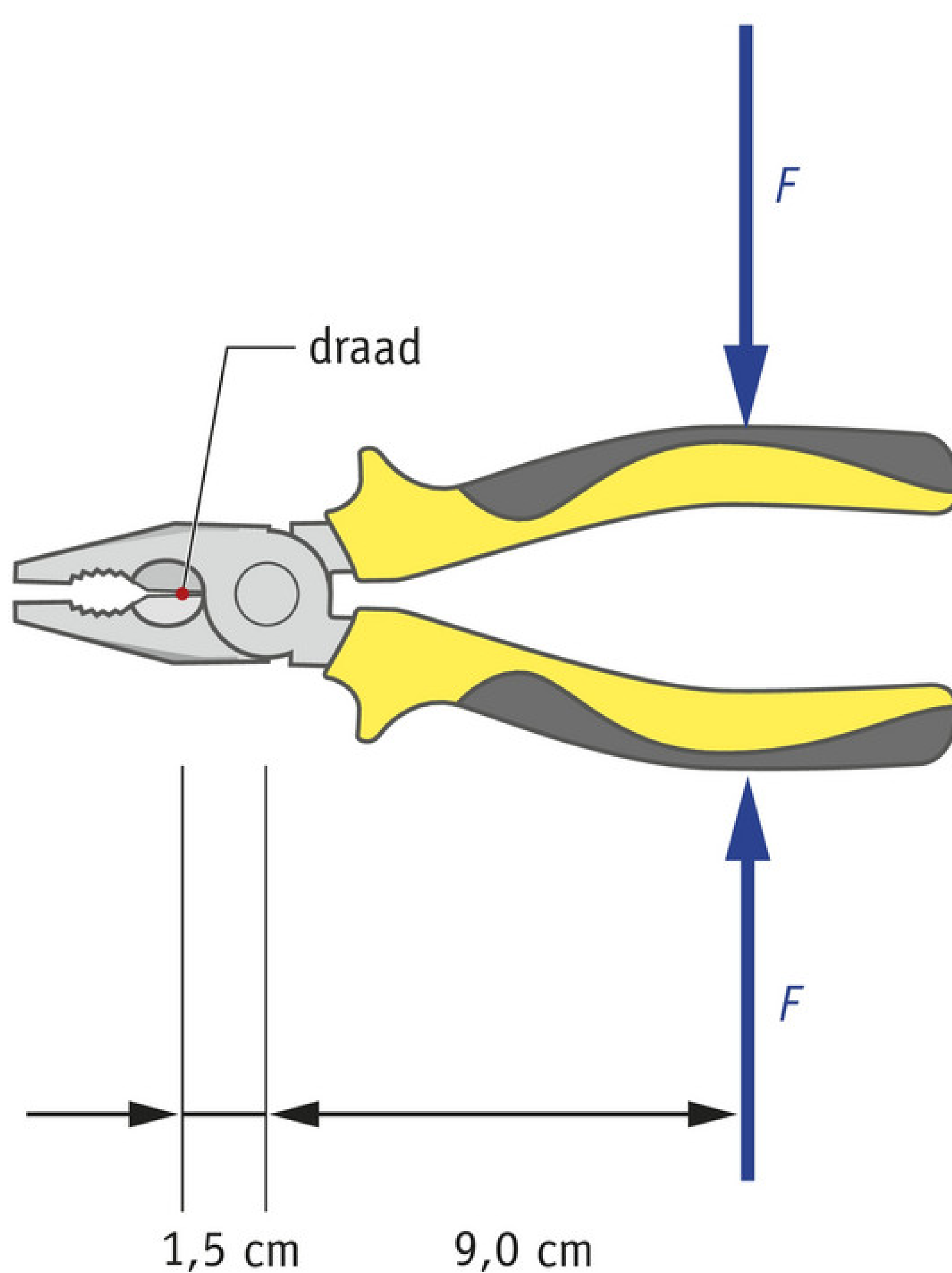
42 In figuur 50 zie je een andere mobile.
Bereken de massa's van de visjes A en B. Je mag de massa van de stokjes verwaarlozen.



▶ **figuur 50**
een mobiel met drie visjes

43 Bij deze opgave heb je werkblad 1-7 nodig.
Een kist heeft een deksel dat rondom is vastgespijkerd. Je kunt zo'n kist openmaken met een koevoet, zoals op het werkblad is getekend.

- **a** Zet een rode stip bij het draaipunt van de koevoet.
- **b** Teken de richting van de spierkracht op de koevoet. Het aangrijpingspunt is al getekend.
- **c** Meet de afstand:
  - tussen de spierkracht en het draaipunt.
  - tussen de kracht op het deksel en het draaipunt.
- **d** Om het deksel omhoog te laten bewegen, is een kracht van 750 N nodig. Bereken hoeveel (spier)kracht je daarvoor op de koevoet moet uitoefenen.



▲ **figuur 51**
een draad doorknippen met een combinatietang

44 Wilfred knipt een ijzerdraad door met een combinatietang (figuur 51). De tang oefent daarbij twee krachten van 95 N uit op de draad.
Bereken met welke spierkracht *F* Wilfred de handvatten dichtknijpt.

***45** In figuur 52 zie je de stemknoppen van een elektrische gitaar en van een basgitaar.

- **a** Laat met een schets zien dat zo'n stemknop werkt als een hefboom.
- **b** Geef in je schets aan hoe groot de arm van de spierkracht is.
- **c** Leg uit waarom de basgitaar extra grote stemknoppen heeft.

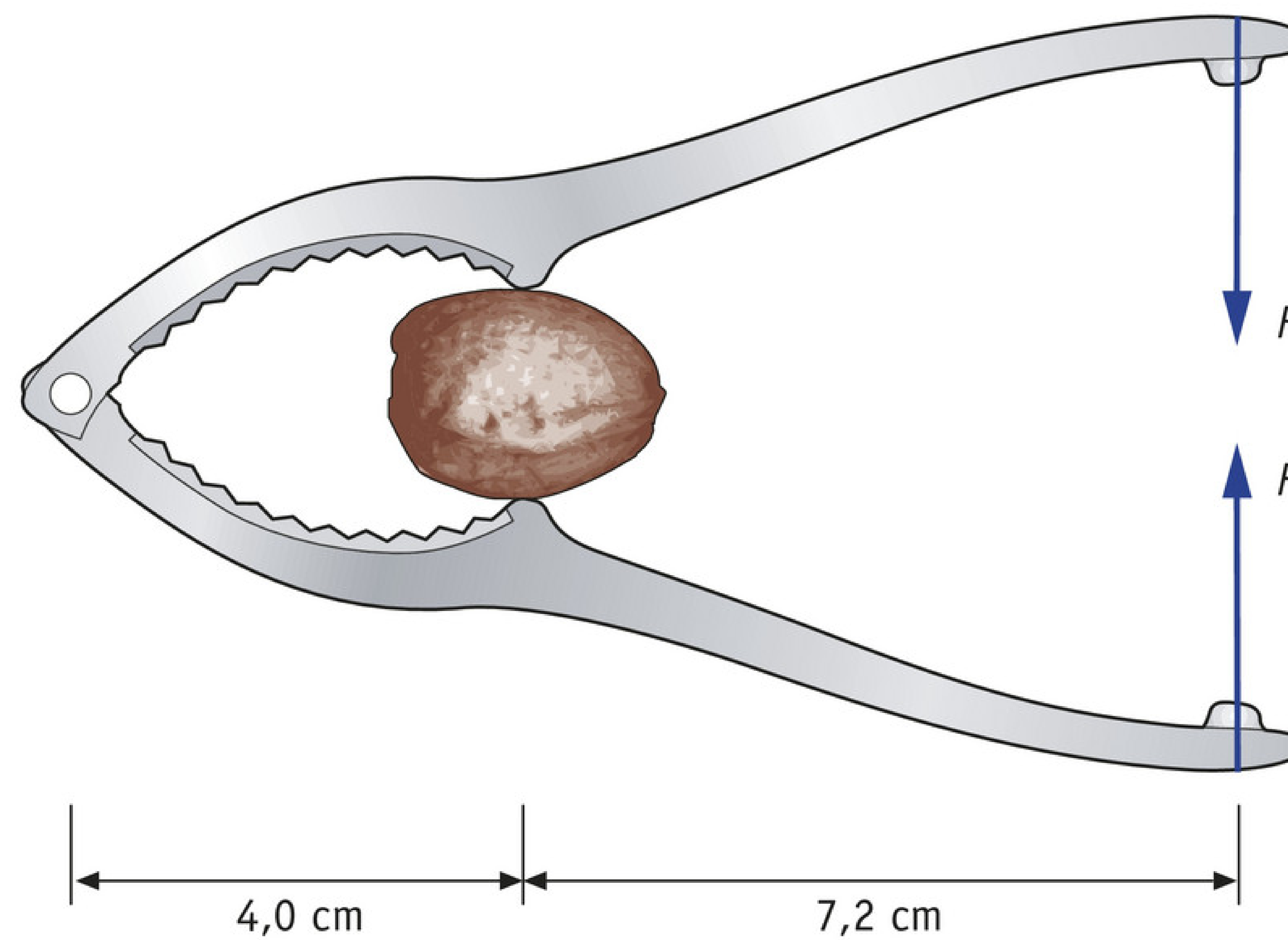
ⓐ


ⓑ

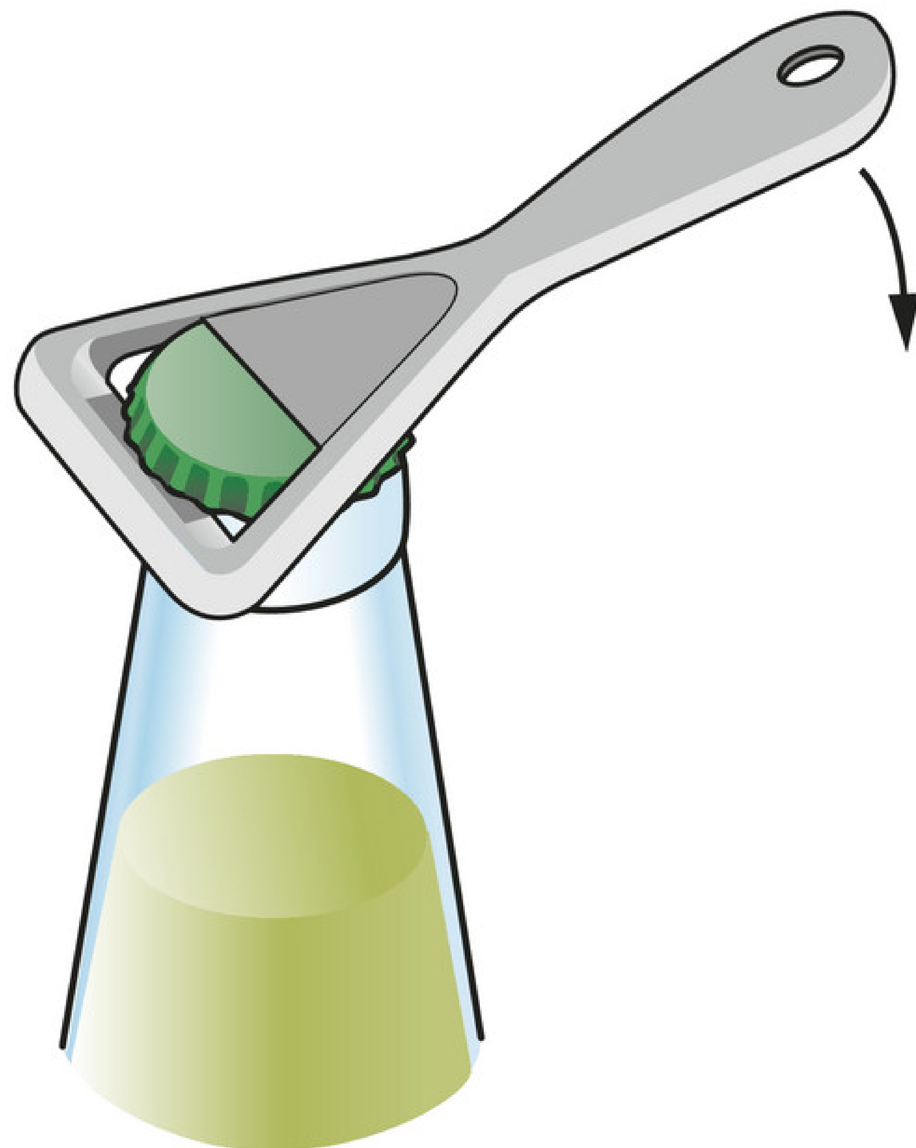

▲ **figuur 52**
de stemknoppen van een gewone elektrische gitaar (a) en een elektrische basgitaar (b)

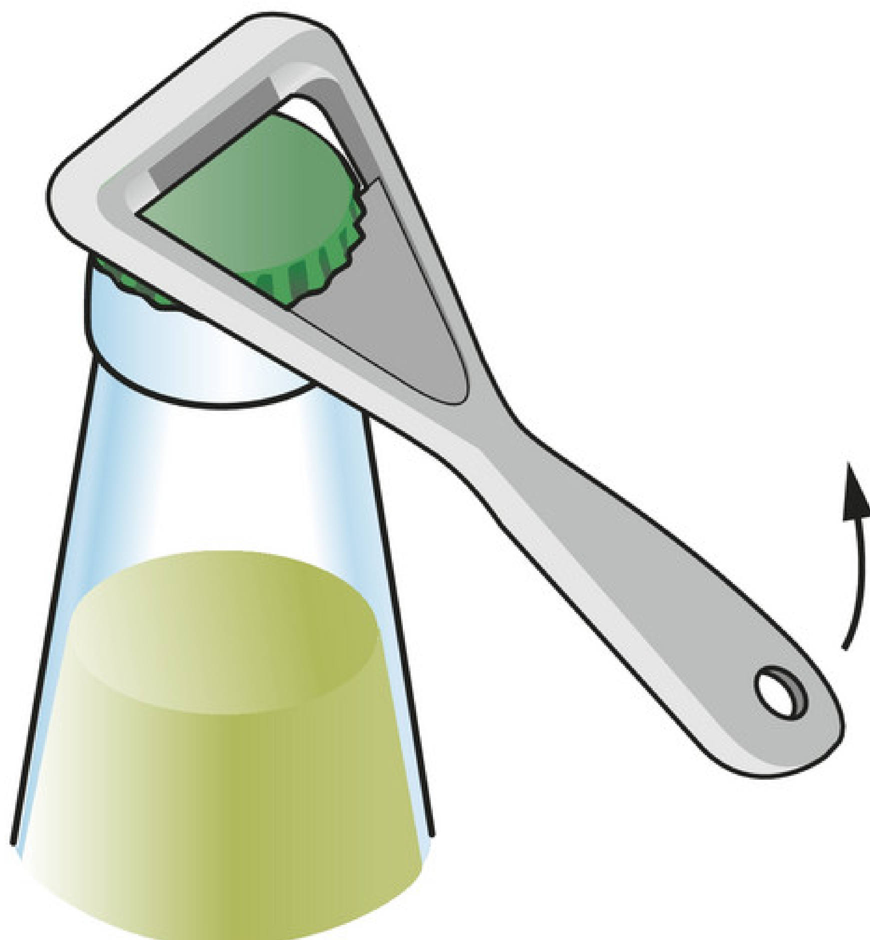
46 Henk-Jan kraakt een walnoot met een notenkraker (figuur 53). Hij oefent een kracht van 15 N uit op de beide handvatten.
Bereken hoe groot de kracht op de walnoot wordt.

▶ **figuur 53**
een noot kraken



***47** Je kunt een flessenopener op twee manieren gebruiken (figuur 54).
Beredeneer bij welke manier je de minste spierkracht nodig hebt.
Tip: maak een schets waarin je de draaipunten en de armen van de krachten aangeeft.

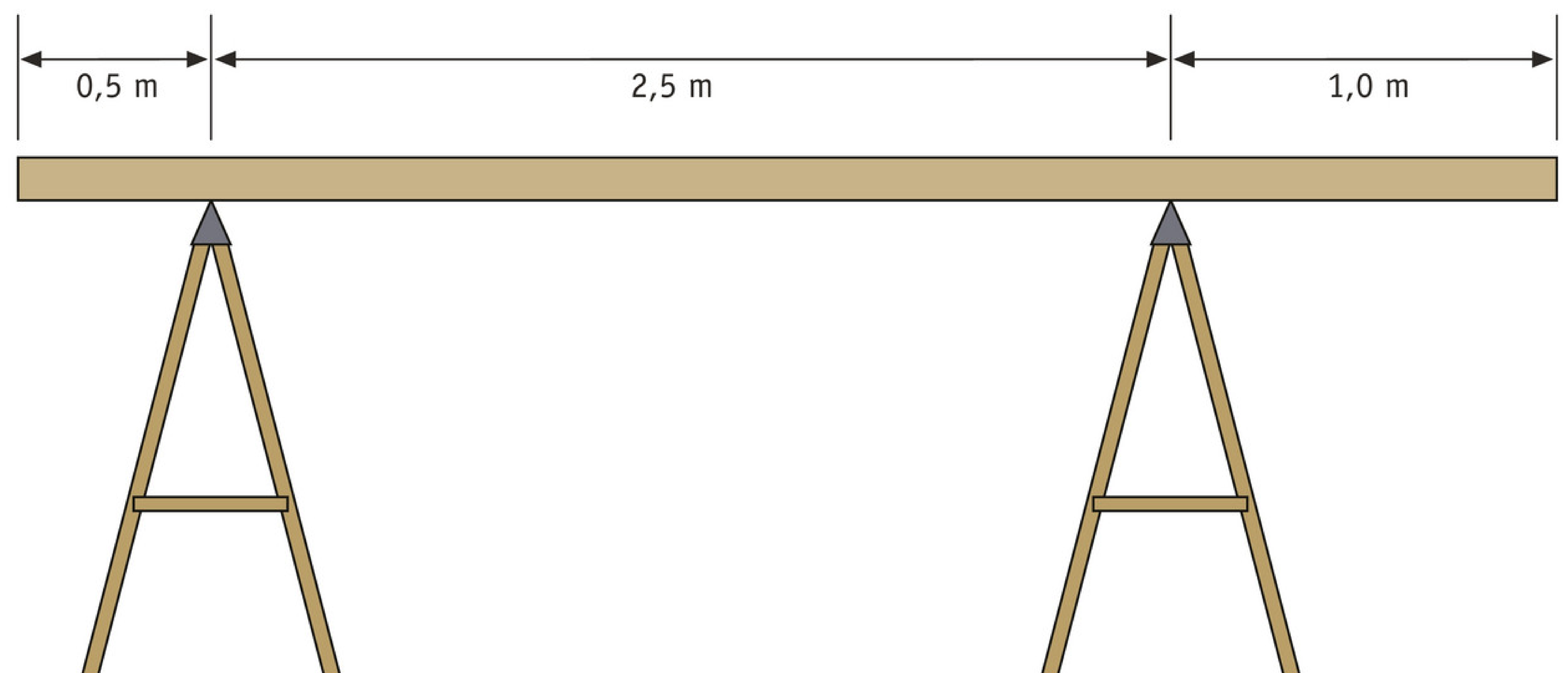




▲ **figuur 54**
Op welke manier kun je het flesje het gemakkelijkst openmaken?

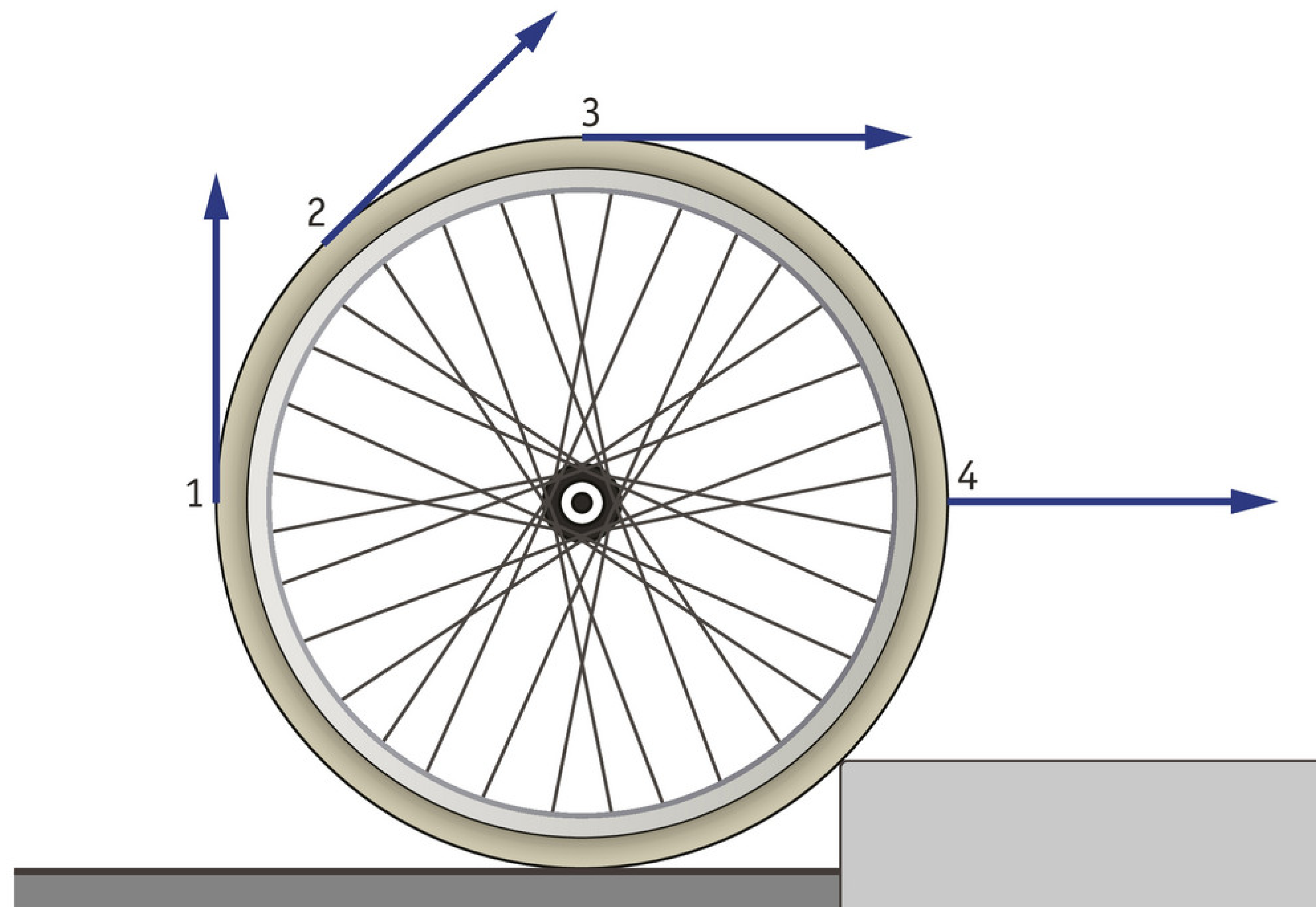
48 Een uniforme plank met een gewicht van 600 N staat op twee schragen (figuur 55).
Hoe groot is de *kleinste* kracht die nodig is om de plank te laten kantelen (dat wil zeggen: dat de plank loskomt van een van de schragen)?

A 150 N
B 200 N
C 300 N
D 600 N



▲ **figuur 55**
een plank op twee schragen

49 In figuur 56 zie je een wiel tegen een stoeprand. Je wilt het wiel tegen de stoeprand omhoogtrekken. Op vier verschillende plaatsen wordt op het wiel een kracht, in de aangegeven richting, uitgeoefend.
Beredeneer op welke plaats je met de kleinste kracht kunt volstaan: 1, 2, 3 of 4.



▶ **figuur 56**
een wiel en een stoeprand

Plus De momentsleutel

50 Piet moet een moer vastzetten en heeft zijn momentsleutel ingesteld op 80 Nm. Hij houdt de momentsleutel vast op 50 cm afstand van het midden van de moer.

a Bereken de maximale kracht die Piet zo kan uitoefenen op de moer.

b Piet houdt nu zijn hand dichter bij de moer.
Hoe verandert de kracht waarmee hij moet trekken om het maximale moment op de moer uit te oefenen?

***51** Bij momentsleutels is kalibratie heel belangrijk.

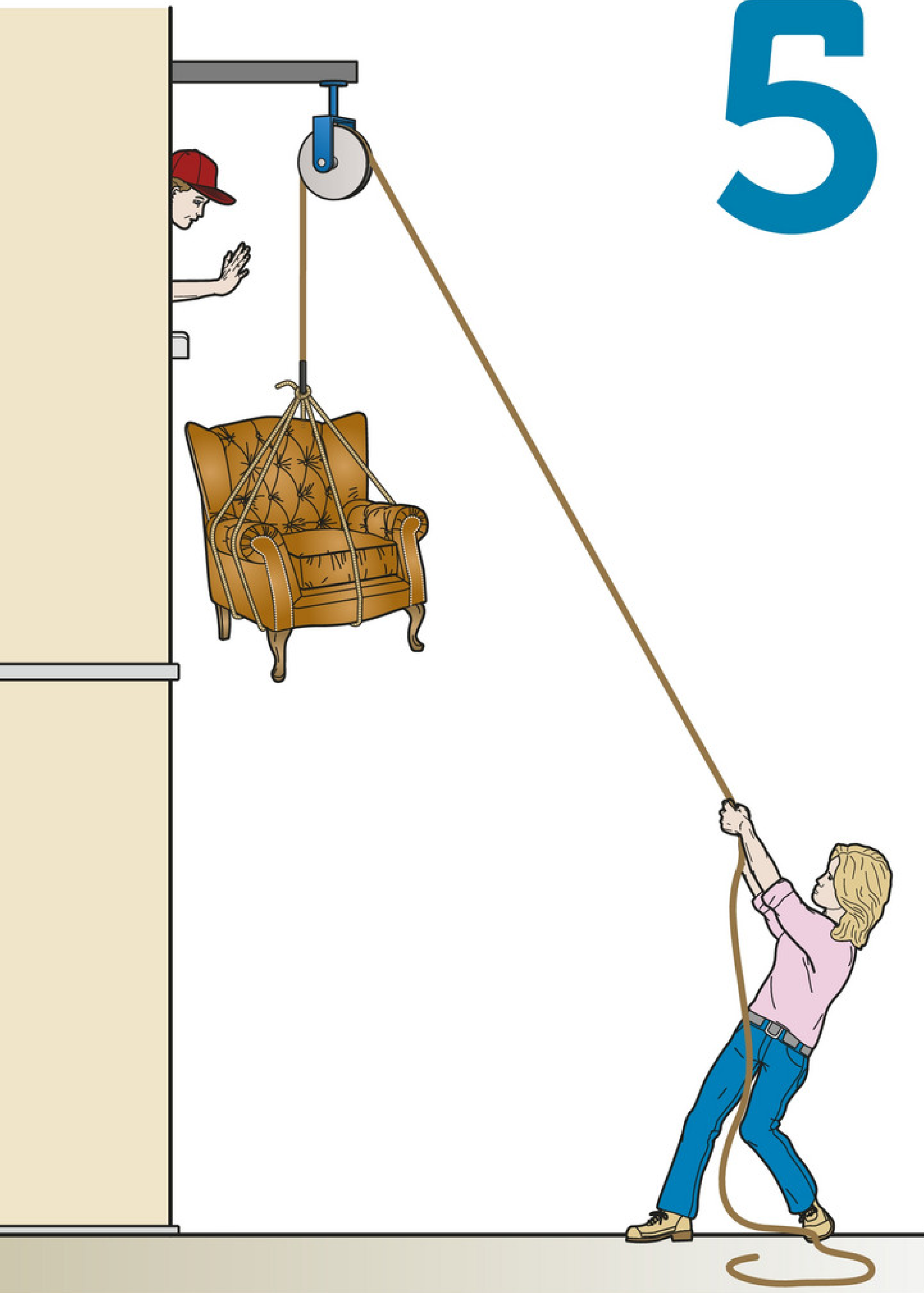
a Zoek op wat kalibratie is en leg uit waarom kalibratie belangrijk is als je met een momentsleutel werkt.

b In de handleiding van een momentsleutel staat onder andere: '40 Nm t/m 210 Nm'.
Leg uit wat dit betekent.

c In diezelfde handleiding staat ook 'onnauwkeurigheid: 4%'.
Leg uit wat dit betekent.

d Je stelt de momentsleutel in op 160 Nm.
Tussen welke waarden kan het maximale moment dan liggen?

5 Krachten overbrengen

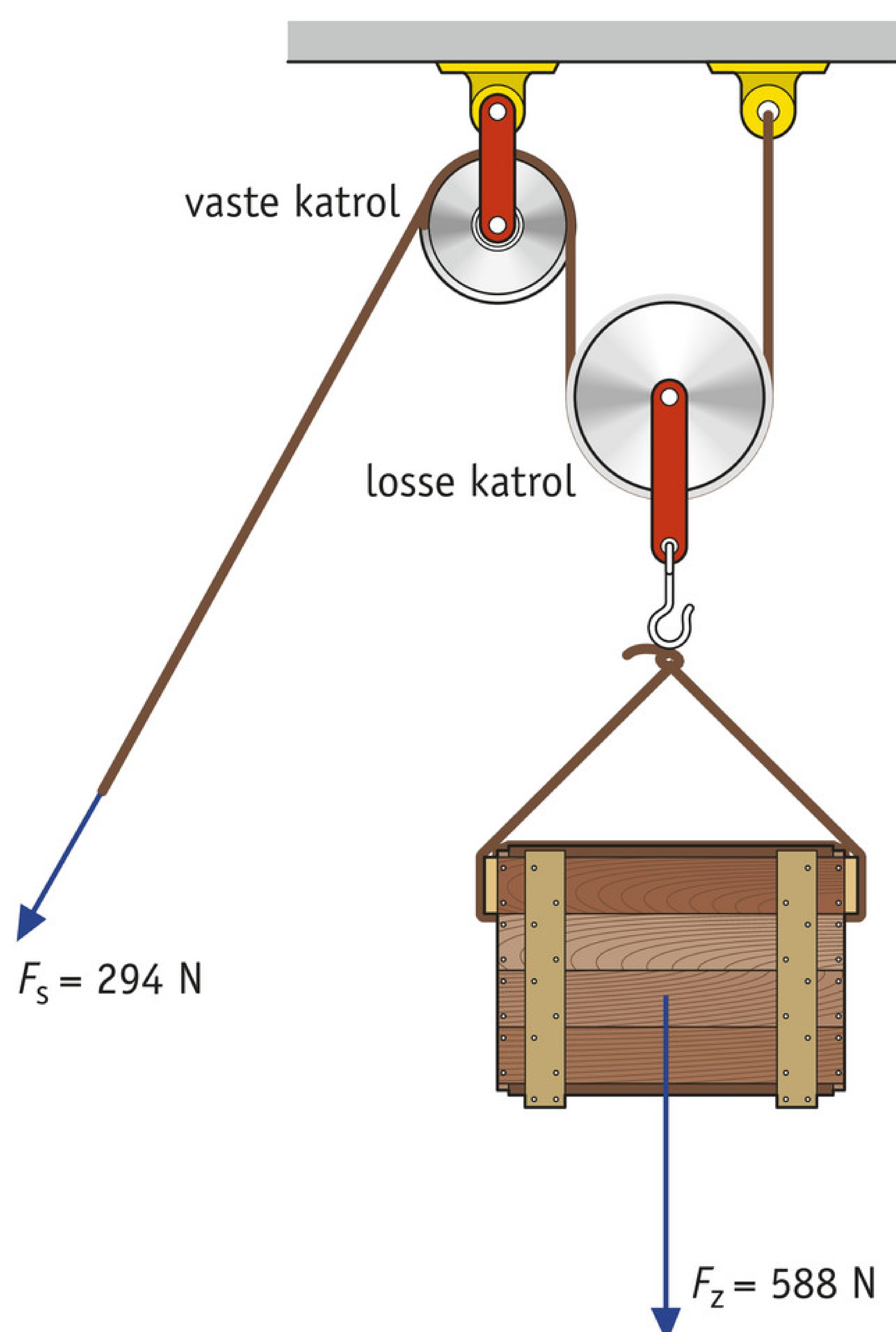


▲ figuur 57
hijsen met een vaste katrol

Zonder het te merken gebruik je elke dag een groot aantal hefbomen. Die maken het leven een stuk gemakkelijker. Hefbomen zijn echter niet geschikt voor klussen als het ophijsen van zware lasten. Daarvoor heb je katrollen en takels nodig.

De vaste katrol

In figuur 57 zie je hoe je een stoel van 20 kg met een **vaste katrol** omhoog kunt hijsen. Je moet dan aan het touw trekken met een kracht van 20 × 9,8 = 196 N. In het begin is de hijskracht iets groter dan 196 N – anders komt de stoel niet in beweging – maar dat mag je verwaarlozen. Met een vaste katrol is de kracht waarmee je moet trekken even groot als het gewicht van de last. Toch gaat het hijsen gemakkelijker doordat de richting van de kracht wel verandert. Je kunt dan met je hele gewicht aan het touw gaan hangen. Ophijsen vanaf het raam is moeilijker (en slecht voor je rug). Je kunt met een vaste katrol nooit iets ophijsen dat zwaarder is dan jijzelf.



▲ figuur 58
hijsen met een vaste en een losse katrol

Hijsen met een takel Proef 4

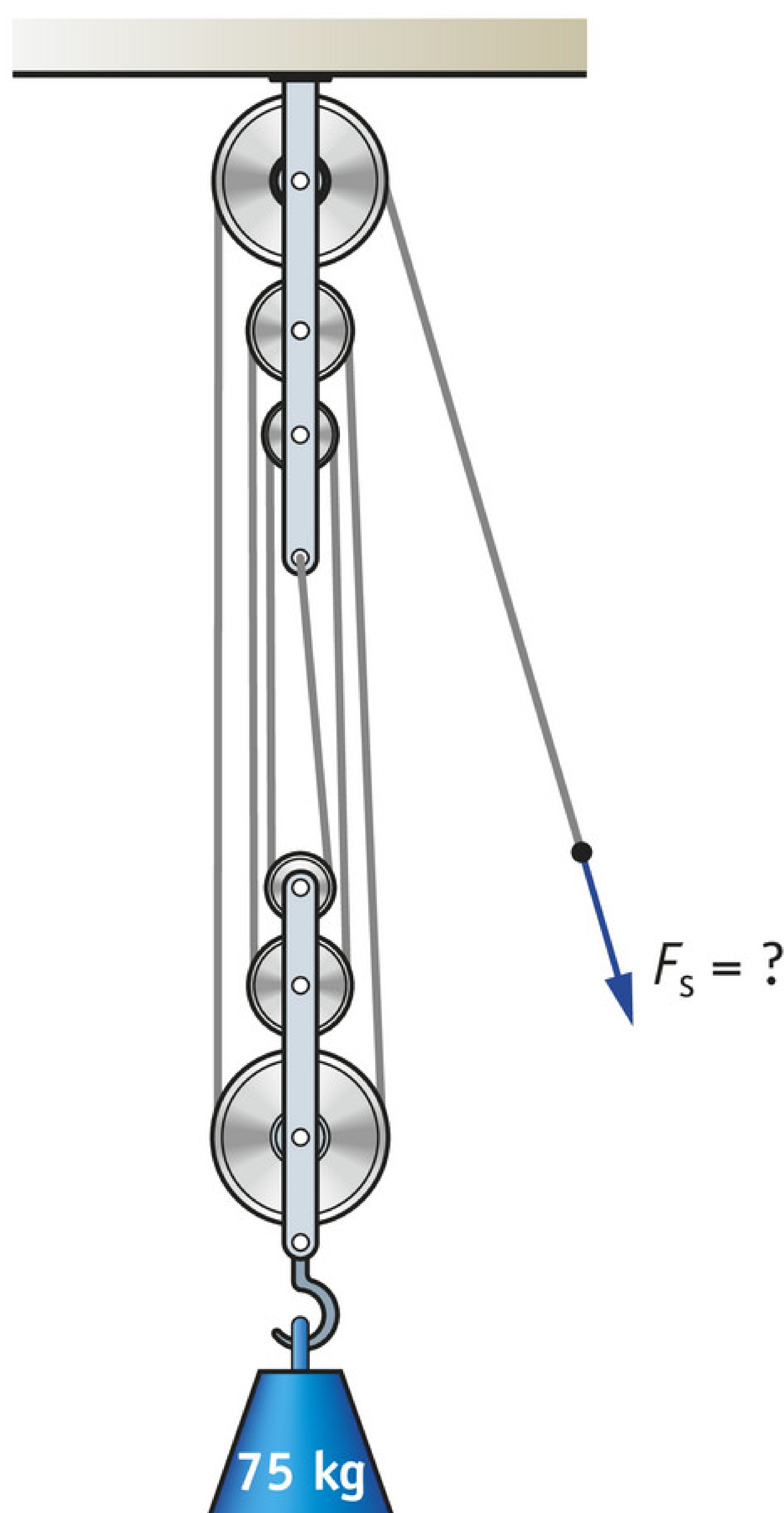
Sommige voorwerpen zijn te zwaar om met een vaste katrol omhoog te hijsen, bijvoorbeeld een piano. Dan heb je een **takel** nodig. In figuur 58 zie je een takel met één vaste en één **losse katrol**. Zo'n losse katrol beweegt op en neer, samen met het voorwerp dat je ophijst.
In figuur 58 zie je dat de kist aan twee touwen hangt. Eén touw zit vast aan het plafond, het andere loopt via de vaste katrol naar je hand. Stel dat de kist een massa heeft van 60 kg. Het gewicht van de kist is dan gelijk aan 60 × 9,8 = 588 N. Elk touw draagt daarvan de helft, en dus is de spankracht in het touw gelijk aan 294 N. Om de kist op te hijsen hoef je dus maar met 294 N aan het touw te trekken. Daarbij kun je de massa van de losse katrol verwaarlozen. Zo kun je een zware last als een piano wel alleen ophijsen.

Voor- en nadeel van een takel

Met de takel in figuur 58 kun je dus met een spierkracht van 294 N een voorwerp van 588 N ophijsen. Deze takel zorgt er dus voor dat de **hijskracht** 2× zo groot is als de kracht waarmee je aan het touw trekt. Dat is het voordeel van een takel.
Maar er is ook een nadeel. Als je in figuur 57 het touw een meter naar beneden trekt, gaat de stoel een meter omhoog. Dat is bij een takel niet zo. De twee stukken touw waaraan de kist hangt, moeten allebei korter worden gemaakt. Als je in figuur 58 het touw een meter naar beneden trekt, gaat de kist maar een halve meter omhoog. De **hijsafstand** is dus 2× zo klein als de verplaatsing van het uiteinde van het touw.



▲ figuur 59
een kraan voor zeer zware lasten



▲ figuur 60
de takel van Alfons

De meeste takels hebben meer dan twee katrollen (figuur 59). Hoe groter het aantal katrollen, des te groter is de hijskracht en des te kleiner de hijsafstand. Voor elke takel geldt:

Als het voorwerp aan *N* stukken touw hangt, wordt de hijskracht *N*× zo groot en de hijsafstand *N*× zo klein.

Voorbeeldopgave 8
Alfons hijst met de takel van figuur 60 een voorwerp van 75 kg 8,0 m omhoog.
Bereken de benodigde spierkracht en ook hoeveel meter touw hij moet inhalen.

gegevens — Het voorwerp hangt aan zes stukken touw, dus $N = 6$.
$m = 75$ kg
$h = 8{,}0$ m

gevraagd
– de kracht aan het uiteinde van het touw
– de verplaatsing van het uiteinde van het touw

uitwerking — $F_z = m \cdot g = 75 \times 9{,}8 = 735$ N

De benodigde spierkracht is $F_z : N = 735 : 6 = 123$ N.
Het aantal meters touw dat Alfons moet binnenhalen, is
$h \cdot N = 8{,}0 \times 6 = 48$ m.

De arbeid blijft constant

Tijdens het ophijsen verricht je de **arbeid**. Hoe groot die arbeid is, hangt af van twee dingen: je spierkracht én de afstand waarover je het voorwerp verplaatst. De arbeid bereken je met de formule:

$W = F \cdot s$

Als je de kracht F invult in N en de afstand s in m, vind je de arbeid W in Nm.

Als Alfons in voorbeeldopgave 8 een vaste katrol had gebruikt, had je de arbeid zo berekend:

$W = F \cdot s = 735 \times 8{,}0 = 5880$ Nm

In werkelijkheid heeft hij een takel met $N = 6$ gebruikt. De berekening wordt dan:

$W = F \cdot s = 122{,}5 \times 48 = 5880$ Nm

Bij een takel wordt de kracht dus *N*× zo klein en de afstand *N*× zo groot. De grootte van de arbeid ($W = F \cdot s$) blijft dan hetzelfde. Wel is het met een takel gemakkelijker om die arbeid te verrichten.

Regels bij hefwerktuigen

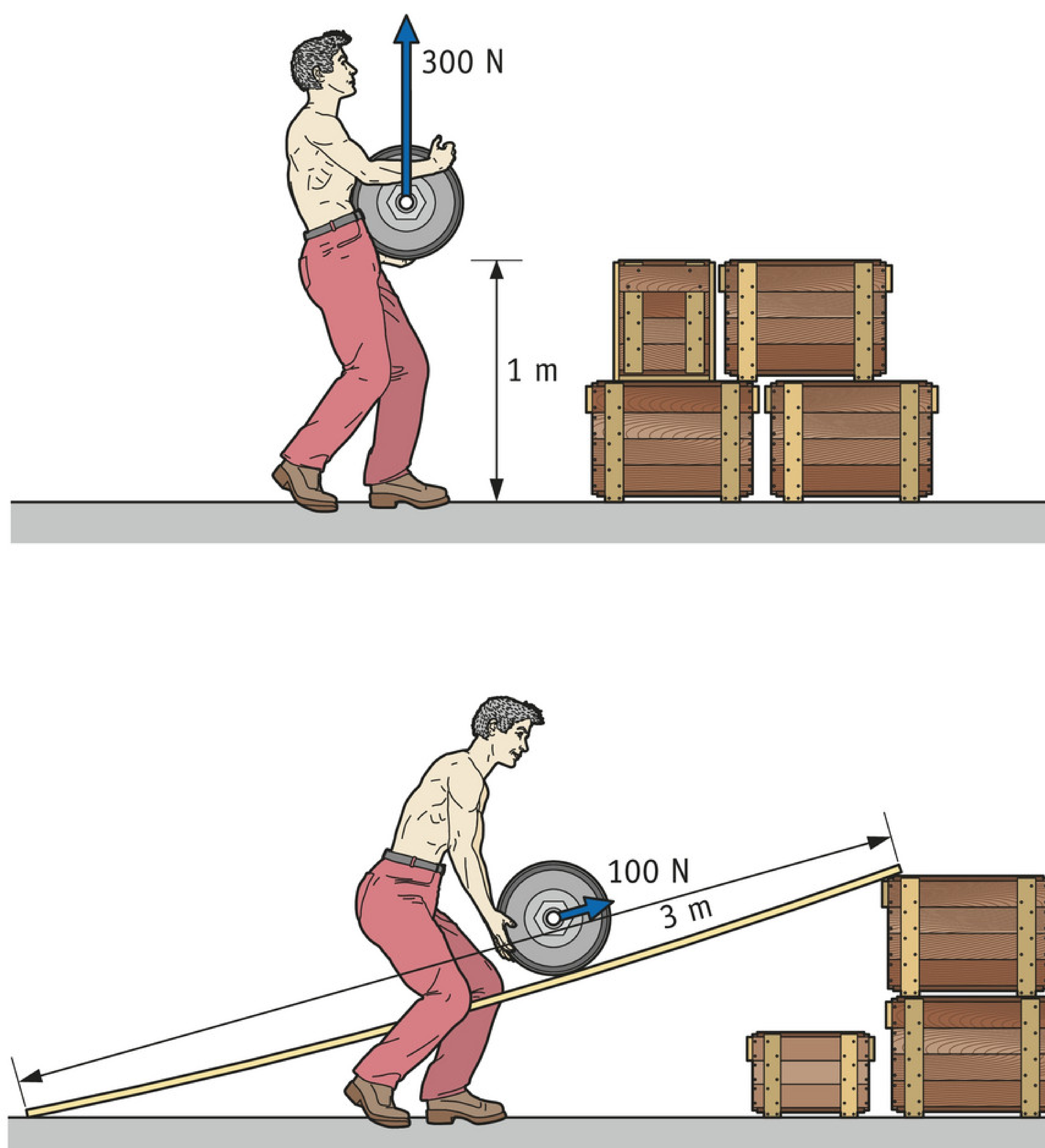
Het voor- en nadeel van een takel geldt voor alle hefwerktuigen. Allemaal verminderen ze de benodigde kracht maar niet de hoeveelheid arbeid. Met andere woorden:

Als een hefwerktuig de benodigde kracht *N*× zo klein maakt, wordt de af te leggen afstand *N*× zo groot.

En omgekeerd:

Als een hefwerktuig de af te leggen afstand *N*× zo groot maakt, wordt de benodigde kracht *N*× zo klein.

Ook een hellend vlak kun je zien als een 'hefwerktuig'. In figuur 61 maak je de afstand 3× zo groot en daarmee maak je de benodigde kracht 3× zo klein. Ook hier wordt de benodigde kracht kleiner, maar blijft de benodigde arbeid even groot.



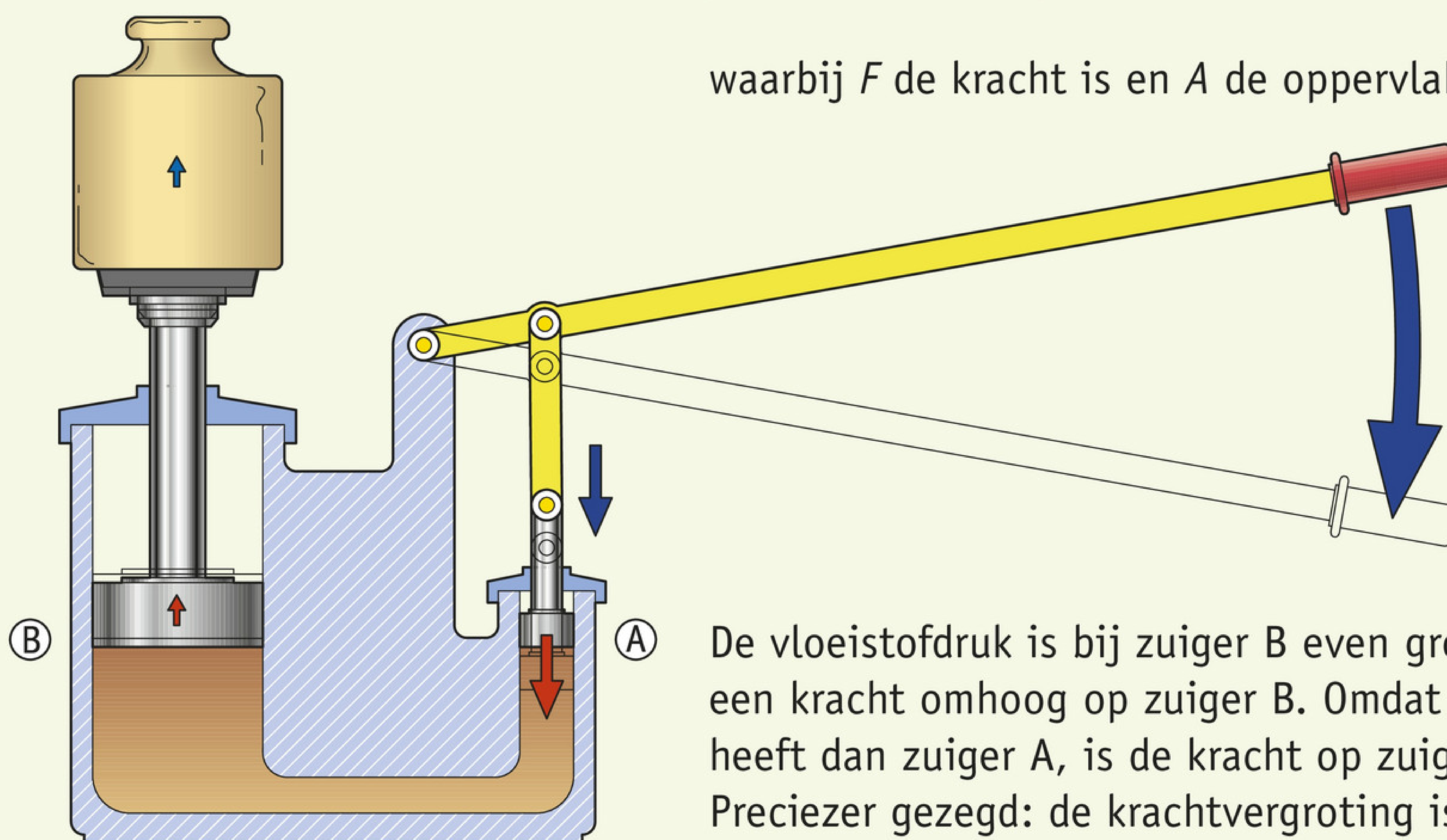
▲ **figuur 61**
Wat zou jij doen: gewoon tillen of een hellend vlak gebruiken?

Plus Hydraulische werktuigen

In hydraulische werktuigen wordt een vloeistof gebruikt om krachten groter te maken. Een goed voorbeeld hiervan is de met olie gevulde **hydraulische krik** (hydraulisch komt van het Griekse *hudor* = 'water' en *aulos* = 'pijp' of 'buis') van figuur 62. Als je de hefboom rechts naar beneden duwt, oefen je bij A door de hefboom een grote kracht uit op de vloeistof. Die kracht wordt dan verdeeld over het oppervlak van de zuiger A. Er ontstaat dan een druk op de vloeistof. Ook voor vloeistofdruk *p* geldt de formule:

$$p = \frac{F}{A}$$

waarbij *F* de kracht is en *A* de oppervlakte.



▲ **figuur 62**
een hydraulische krik

De vloeistofdruk is bij zuiger B even groot als bij zuiger A en zorgt voor een kracht omhoog op zuiger B. Omdat zuiger B een groter oppervlak heeft dan zuiger A, is de kracht op zuiger B naar boven ook groter. Preciezer gezegd: de krachtvergroting is gelijk aan de verhouding tussen de grootte van de beide zuigeroppervlakken.
Ook hier geldt weer de regel: wat je wint aan kracht, verlies je aan afstand. Als je zuiger A naar beneden duwt, verplaats je maar weinig vloeistof. Zuiger B gaat daarom maar weinig omhoog.



▶ **figuur 63**
Aan de zuiger kun je zien dat deze machine hydraulisch werkt.

Ook machines als vorkheftrucks en bulldozers werken met dit principe (figuur 63). Je ziet bij zo'n machine een grote blinkende zuiger naar buiten schuiven. Wat je niet ziet, is het kleine zuigertje binnenin dat door de motor naar binnen wordt geduwd.

opgaven

52 Beantwoord de volgende vragen.

a Noem een voordeel en een nadeel van het hijsen met een vaste katrol.

b Met welke formule kun je de arbeid berekenen?

c Wat is het verschil tussen een vaste katrol en een losse katrol? Maak een schets.

d Op welke manier kun je bij een takel bepalen hoeveel keer de hijskracht groter is dan de kracht aan het uiteinde van het touw?

53 Als je een takel gebruikt om iets omhoog te brengen, boek je tegelijkertijd winst en verlies.

a Wat is de winst die je met een takel behaalt?

b Wat is het verlies dat daar tegenover staat?

c Wat blijft er constant als je een takel gebruikt?

54 Robbert (86 kg) verhuist naar een appartement op de derde verdieping van een oud pakhuis. Hij gebruikt een vaste katrol om zijn meubels omhoog te hijsen.

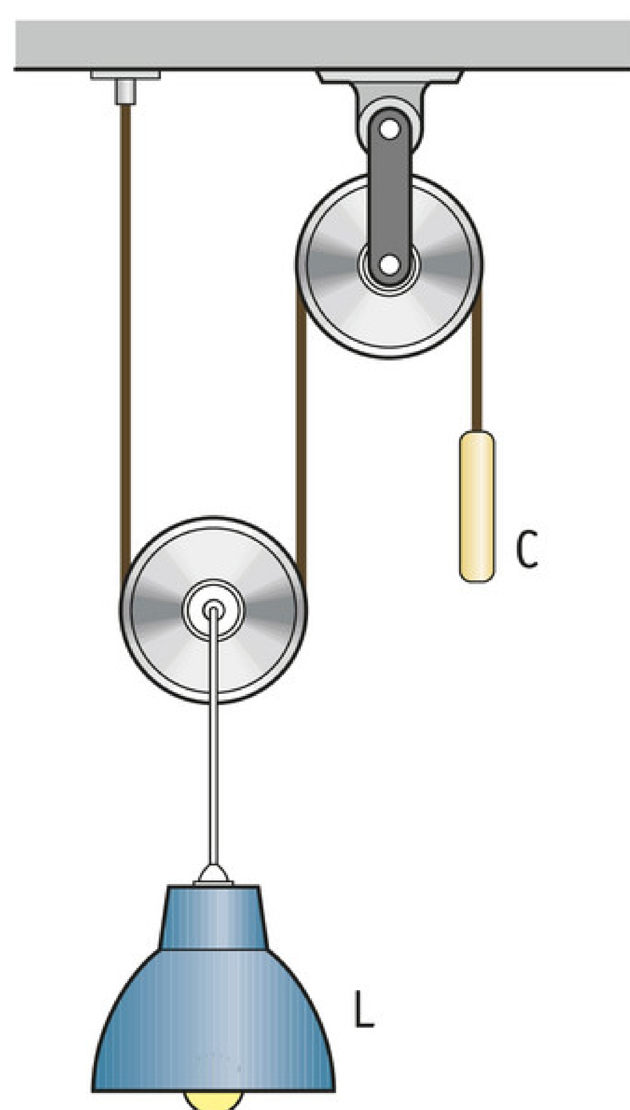
a Hoe groot is het maximale gewicht (in N) dat Robbert kan ophijsen? Leg uit hoe je aan je antwoord komt.

b Tijdens het hijsen loopt Robbert een paar stappen achteruit. Het touw waaraan hij trekt, komt daardoor schuin te staan.
Verandert de kracht die Robbert op het touw moet uitoefenen daardoor?

55 Bereken de arbeid die in de volgende situaties wordt verricht.

a Jan raapt een luciferdoosje op van de grond en legt het op tafel. De massa van het doosje is 10 g, de tafel is 78 cm hoog.

b De kraan van een autosloopbedrijf tilt een autowrak 3,5 m omhoog. De massa van het autowrak is 1,2 ton.



▲ **figuur 64**
een katrollamp

56 Bij Marlies en Geert hangt een verstelbare katrollamp met een massa van 1,5 kg (figuur 64). Je kunt de massa van de losse katrol en de wrijving in de katrollen verwaarlozen.

a De cilinder C is zwaar genoeg om de lamp op zijn plaats te houden. Bereken de massa van de cilinder.

b Marlies duwt de lamp 20 cm omhoog.
Waarom heeft ze daar (bijna) geen kracht voor nodig?

c Hoeveel cm gaat de metalen cilinder dan omlaag?

57 Francien (22 kg) heeft met haar vader (79 kg) gewed dat ze hem in haar eentje kan optillen. Maar de vader van Francien weet niet dat ze een takel heeft geleend.

a Hoeveel keer moet deze takel Franciens hijskracht vergroten?

b Teken een eenvoudige takel waarmee Francien haar weddenschap kan winnen. Gebruik niet meer katrollen dan nodig is.

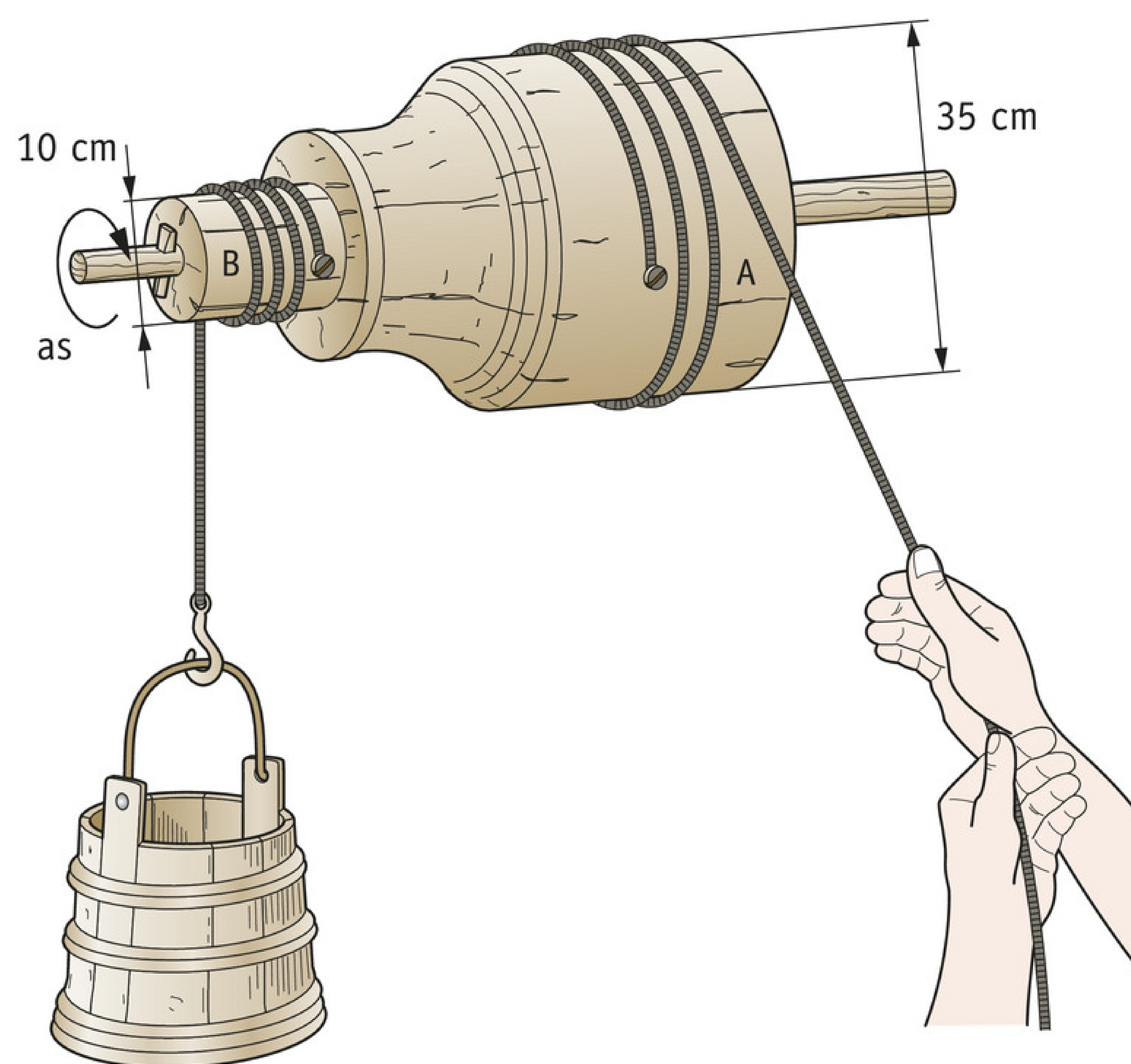
***58** Marijn gebruikt een windas om een emmer water (*m* = 10 kg) uit een put omhoog te hijsen (figuur 65).

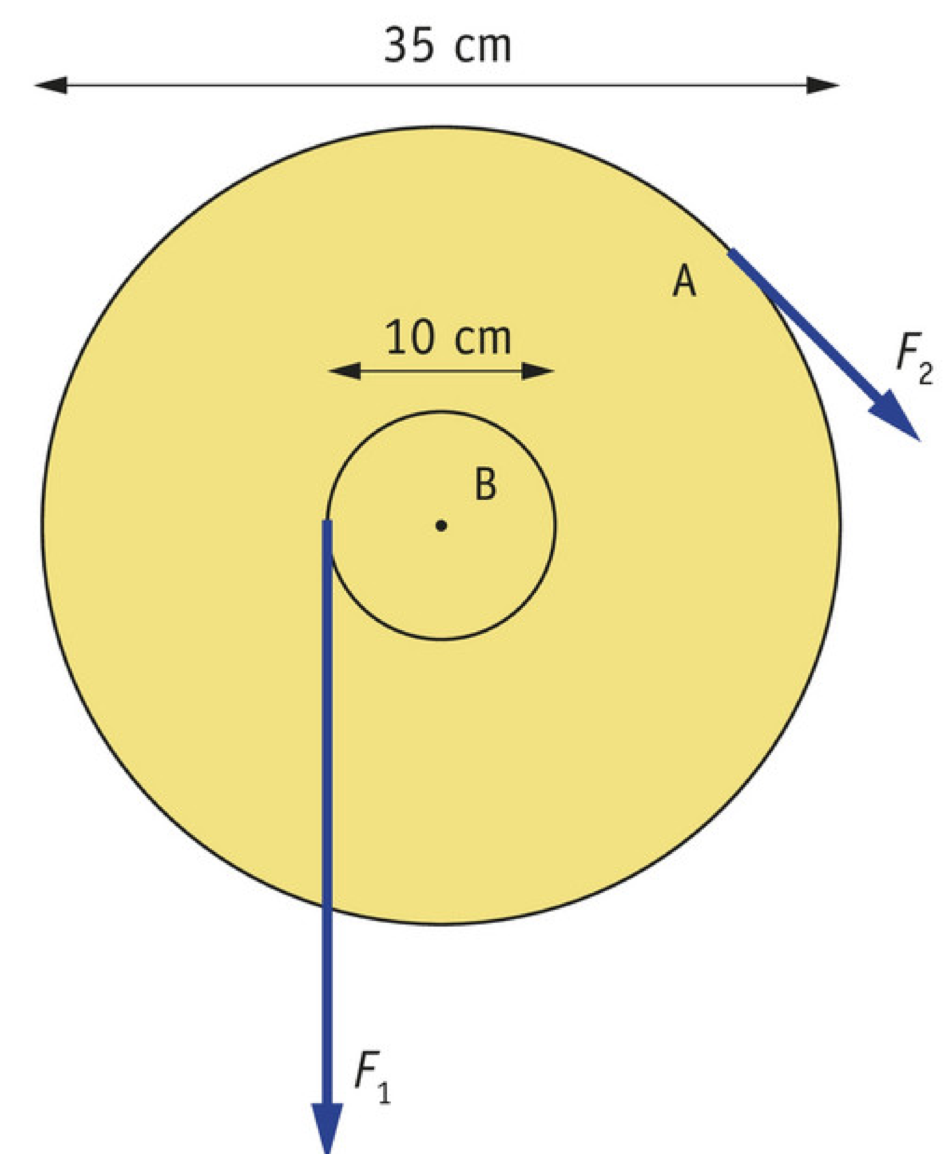
a Bereken de kracht waarmee Marijn aan het touw moet trekken.
Tip: bekijk de windas als een hefboom.

b Leg uit of de benodigde kracht verandert als je in de figuur niet schuin, maar horizontaal aan het touw trekt.

c De put is 4,0 m diep.
Bereken hoeveel touw je in moet halen om de emmer boven te krijgen.

d Als de windas kapotgaat, moet Marijn de emmer aan een los touw omhoogtrekken.
Laat zien dat dit wel verschil maakt voor de benodigde kracht, maar niet voor de hoeveelheid arbeid.





▲ **figuur 65**
een windas

***59** Max hijst een stoel van 12 kg 7,5 m omhoog met een takel die bestaat uit één losse en één vaste katrol. De katrollen hebben elk een massa van 1,0 kg.

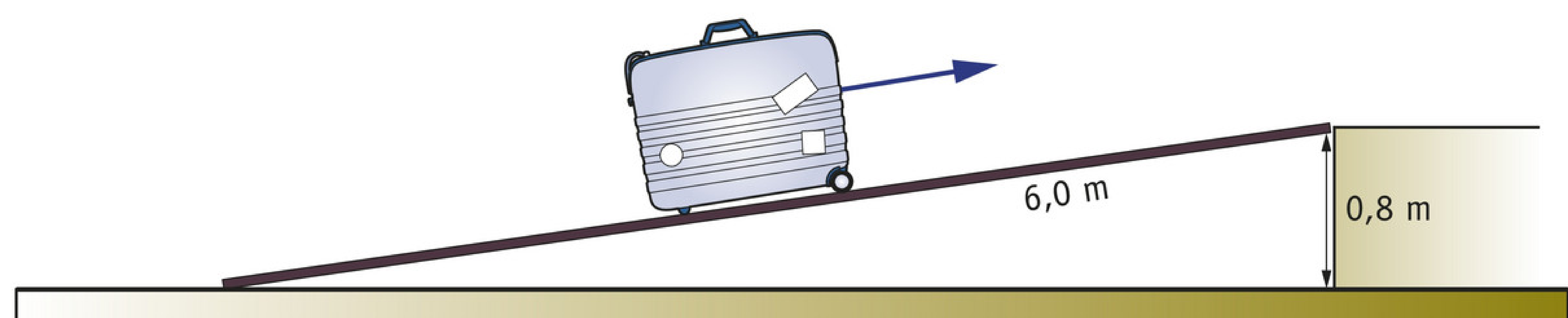
a Bereken de benodigde spierkracht.

b Hoeveel meter touw moet Max inhalen?

c Bereken de arbeid die Max moet verrichten.

d Leg uit dat Max iets meer arbeid moet verrichten als de takel uit twee vaste en twee losse katrollen had bestaan.

60 In de vertrekhal van een vliegveld trekt een reiziger zijn koffer (*m* = 20 kg) met wieltjes tegen een helling omhoog. De helling is 6,0 m lang en 0,80 m hoog. De wieltjes lopen zó soepel dat de wrijving te verwaarlozen is (figuur 66).
Bereken de arbeid die de reiziger moet verrichten.



▶ **figuur 66**
een koffer op rolletjes

61 Een ziekenhuisbed heeft een soort krik waarmee je het bed omhoog kunt krikken. Als je het pedaal van de krik 20 cm omlaag duwt, gaat het bed 3,0 cm omhoog.
Bij een bepaalde patiënt moet de verpleger een kracht van 165 N op het pedaal uitoefenen.

- **a** Bereken de massa van het bed en de patiënt samen.
- **b** De verpleger krikt het bed in totaal 30 cm omhoog.
  Bereken hoeveel arbeid de verpleger daarbij verricht.

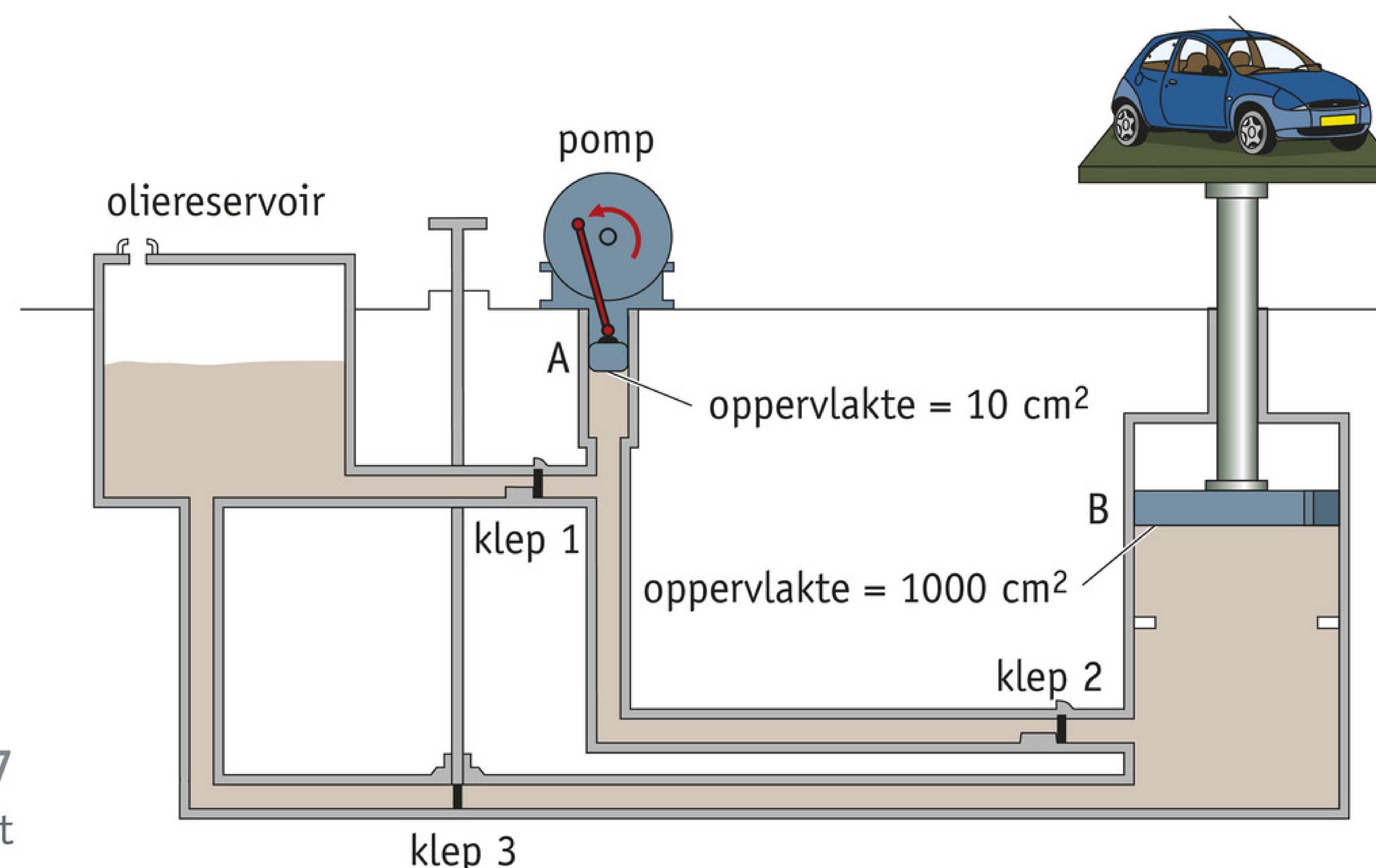
Plus Hydraulische werktuigen

62 In figuur 62 op bladzijde 42 staat een hydraulische krik.

- **a** Leg uit dat de 'regels' voor kracht en verplaatsing die bij takels gelden, ook bij een hydraulische krik gelden.
- **b** Leg met de formule voor druk uit dat de kracht op zuiger B groter is dan die bij zuiger A.

***63** In figuur 67 zie je een hydraulische lift schematisch getekend. Op zuiger A wordt een kracht uitgeoefend van 1500 N.

- **a** Bereken de kracht die de vloeistof op zuiger B uitoefent.
- **b** Zuiger A wordt 50 cm naar beneden geduwd.
  Bereken hoeveel zuiger B daardoor naar boven beweegt.
- **c** Zuiger A beweegt vervolgens weer omhoog.
  Gaat klep 1 nu open of dicht?
- **d** Gaat klep 2 nu open of dicht?
- **e** Wat is de functie van deze kleppen?
- **f** Hoe vaak moet zuiger A op en neer worden bewogen om zuiger B 100 cm omhoog te laten bewegen?
- **g** Wat zal er gebeuren als je klep 3 opendraait?



▶ **figuur 67**
een hydraulische lift

Practicum

**Je docent zal je vertellen van welke proeven je een verslag moet maken.
Zie daarvoor vaardigheid 10 achter in je boek.**

Proef 1 Een spiraalveer uitrekken 30 min

Inleiding
Een spiraalveer rekt uit als je er gewichtjes aan hangt. De uitrekking is het aantal centimeters waarmee de lengte van de veer toeneemt.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de kracht waarmee een veer wordt uitgerekt en zijn uitrekking?

Nodig
- statiefmateriaal
- gewichtendrager
- gewichtjes
- twee verschillende spiraalveren
- liniaal
- werkblad 1-8

Uitvoeren en uitwerken
– Bouw de opstelling van figuur 68.
– Hang de gewichtendrager zonder gewichtjes aan de veer.

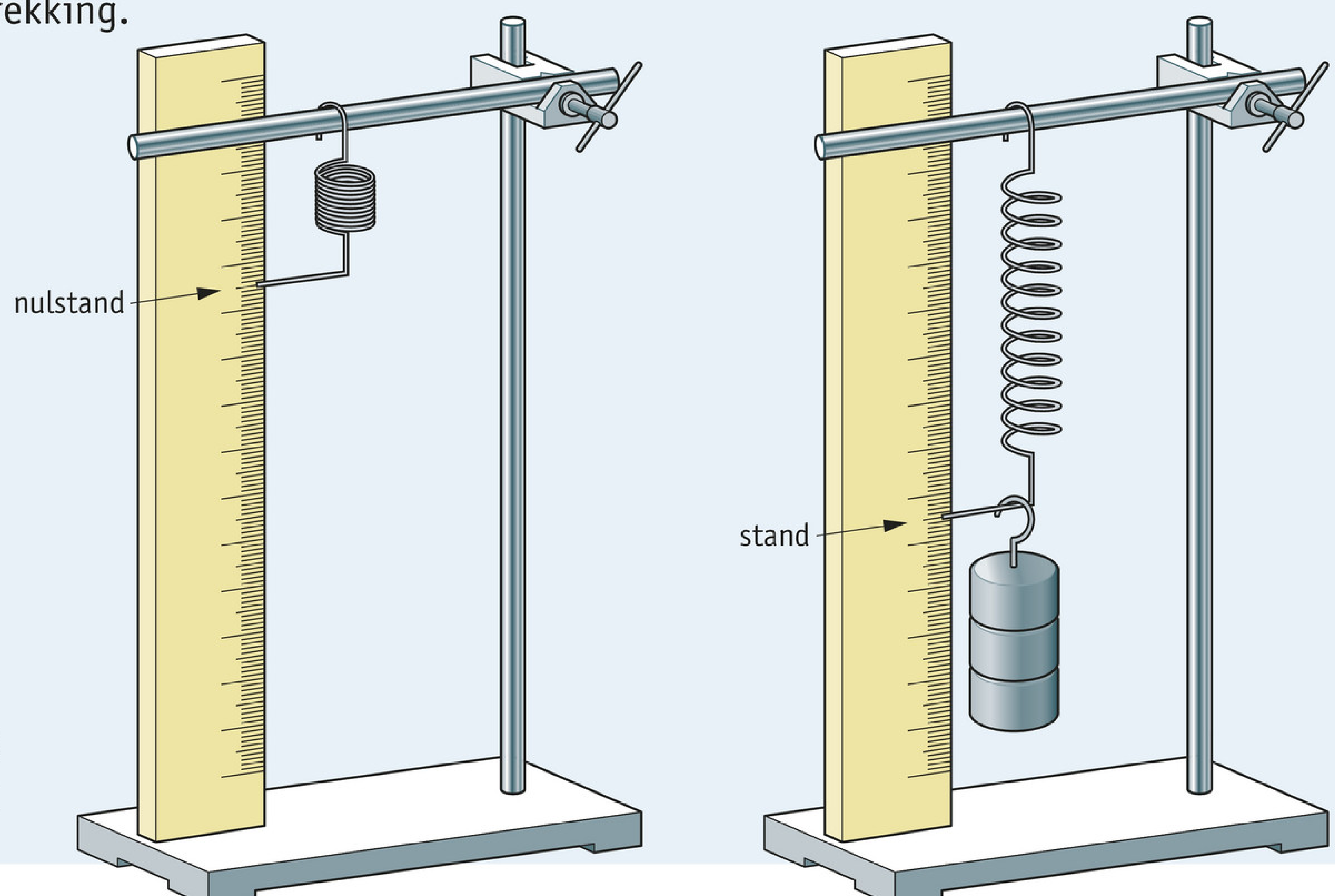
1 Maak een tabel met kolommen voor het aantal gewichtjes, de totale massa van de gewichtjes, de kracht op de veer en de uitrekking.

– Noteer de plaats van de onderkant van de gewichtendrager (de nulstand).
– Leg achtereenvolgens een, twee, drie, enzovoort, gewichtjes op de gewichtendrager. Bepaal steeds de bijbehorende uitrekking van de veer.

2 Noteer je meetgegevens in de tabel.

3 Zie vaardigheid 7 achter in je boek.
Verwerk je meetresultaten tot een grafiek op het werkblad.
4 Zie vaardigheid 8 achter in je boek.
Welk verband bestaat er tussen de kracht op een veer en de uitrekking?

De veerconstante C geeft aan hoe stug de veer is.
Voor de veerconstante geldt: $C = F : u$.
Als je F invult in N en u in m, vind je C in N/m.
5 Bepaal met de grafiek de veerconstante van de veer. Noteer hoe je dat hebt gedaan.
6 Bepaal nu van de andere veer de veerconstante door maar één meting te doen.
7 Welke van de twee veerconstantes heb je het nauwkeurigst bepaald? Licht je antwoord toe.
8 Beantwoord de onderzoeksvraag.



▲ **figuur 68**
de opstelling van proef 1

Proef 2 Een regel voor evenwicht – 1 30 min

Inleiding
Hefbomen gebruik je elke dag. Flesopeners, steeksleutels, fietstrappers, deurkrukken, tangen, scharen: het zijn allemaal hefbomen. Als je ze bestudeert, neem je de eenvoudigste situatie en dat is de wip. Daarvoor gebruik je een latje dat in het midden kan draaien.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe kun je voorspellen of een hefboom in evenwicht is?

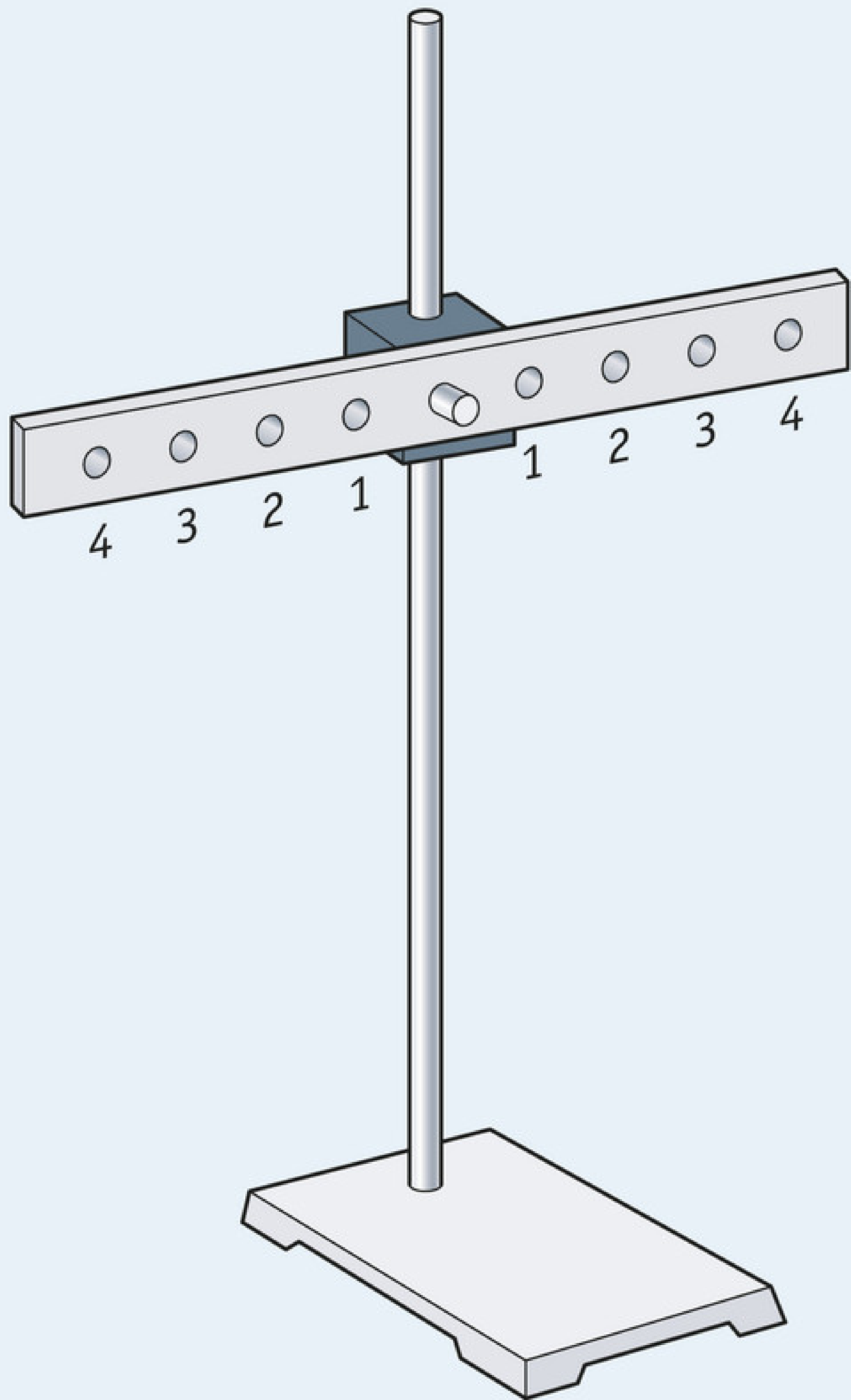
Nodig
- statiefmateriaal
- hefboom met gaatjes
- acht gewichtjes

▼ **tabel 3** de meetgegevens van proef 2

linkerkant van de hefboom	rechterkant van de hefboom
1 gewichtje in gaatje 4	… gewichtjes in gaatje 1
1 gewichtje in gaatje 4	… gewichtjes in gaatje 2
1 gewichtje in gaatje 4	… gewichtjes in gaatje 4
2 gewichtjes in gaatje 3	… gewichtjes in gaatje 1
2 gewichtjes in gaatje 3	… gewichtjes in gaatje 2
2 gewichtjes in gaatje 3	… gewichtjes in gaatje 3

Uitvoeren en uitwerken
- Maak de opstelling van figuur 69. Als de hefboom horizontaal hangt, is hij in evenwicht.
- Hang één gewichtje in gaatje 4 links van het ophangpunt.
- Breng de hefboom in evenwicht door gewichtjes te hangen in gaatje 1 rechts. Doe dat ook met gewichtjes in gaatje 2 en 4.

1 Neem tabel 3 over en noteer je meetresultaten.
2 Doe de metingen die nodig zijn om de rest van de tabel in te vullen.
3 Beantwoord de onderzoeksvraag.



▲ **figuur 69**
de opstelling van proef 2

Proef 3 Een regel voor evenwicht – 2 20 min

Inleiding
Met behulp van de momentenwet kun je voorspellen of een hefboom in evenwicht is of niet.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe kun je met de momentenwet het resultaat van een proef voorspellen?

Nodig
- statiefmateriaal
- hefboom met gaatjes
- negen gewichtjes

Uitvoeren en uitwerken
Gebruik weer de opstelling van figuur 69.
– In tabel 4 zie je zes situaties.
Bereken in elke situatie hoe je evenwicht kunt maken.
– Bereken in situatie 6 zo veel mogelijk manieren om met gewichtjes op twee verschillende plaatsen evenwicht te maken.

1 Neem tabel 4 over en noteer met potlood je voorspellingen.

– Controleer je voorspellingen door proeven te doen.
– Maak zo nodig een nieuwe berekening voor de uitkomsten die je niet goed had voorspeld.

2 Bouw zelf een situatie en noteer die in rij 7. Bedenk daarbij zo veel mogelijk manieren om evenwicht te maken.
3 Controleer je voorspellingen met een meting.
4 Beantwoord de onderzoeksvraag.

▼ **tabel 4** situaties van proef 3

	linkerkant van de hefboom	rechterkant van de hefboom
1	1 gewichtje in gaatje 2	… gewichtjes in gaatje 1
2	2 gewichtjes in gaatje 2	… gewichtjes in gaatje 1
3	3 gewichtje in gaatje 2	… gewichtje in gaatje 1
4	2 gewichtjes in gaatje 4	… gewichtjes in gaatje 2
5	1 gewichtje in gaatje 4 en 1 gewichtje in gaatje 2	… gewichtjes in gaatje 3
6	2 gewichtjes in gaatje 4 en 1 gewichtje in gaatje 1	… gewichtjes in gaatje 3
	idem	… gewichtjes in gaatje 1 en … gewichtjes in gaatje 3
	idem	
	idem	
7		

Proef 4 Katrol en takel 20 min

Inleiding
Met een takel kun je een zwaar voorwerp gemakkelijk ophijsen. Dat lukt zelfs met voorwerpen die een grotere massa hebben dan jezelf.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Welke voor- en nadelen heeft een takel?

Nodig
- statiefmateriaal
- twee katrollen
- touw
- massablokje
- krachtmeter
- meetlat

Uitvoeren en uitwerken
– Meet de zwaartekracht op het massablokje.

1 Noteer hoe groot de zwaartekracht is.

De vaste katrol
– Bouw de opstelling van figuur 70.
– Hijs het massablokje omhoog door de krachtmeter *langzaam* (!) onder een hoek van ongeveer 45° omlaag te trekken.

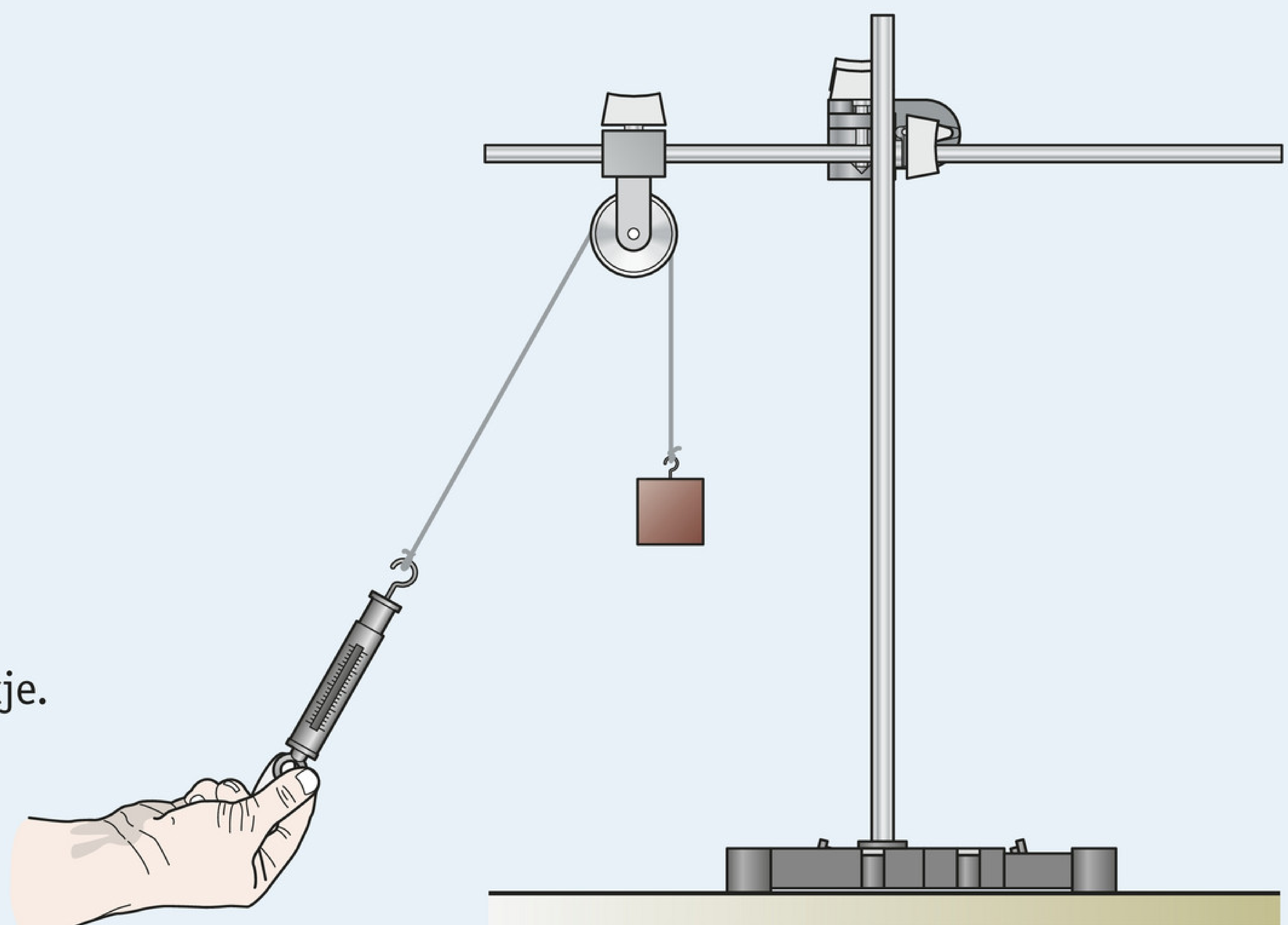
2 Noteer hoe groot de kracht is die de krachtmeter aangeeft.
3 Vergelijk de antwoorden op vraag 1 en 2. Wat is je conclusie?
4 Kun je met een vaste katrol iemand ophijsen die zwaarder is dan jezelf? Leg uit.

De takel
– Bouw nu de opstelling van figuur 71.
– Hijs het massablokje op dezelfde manier omhoog.

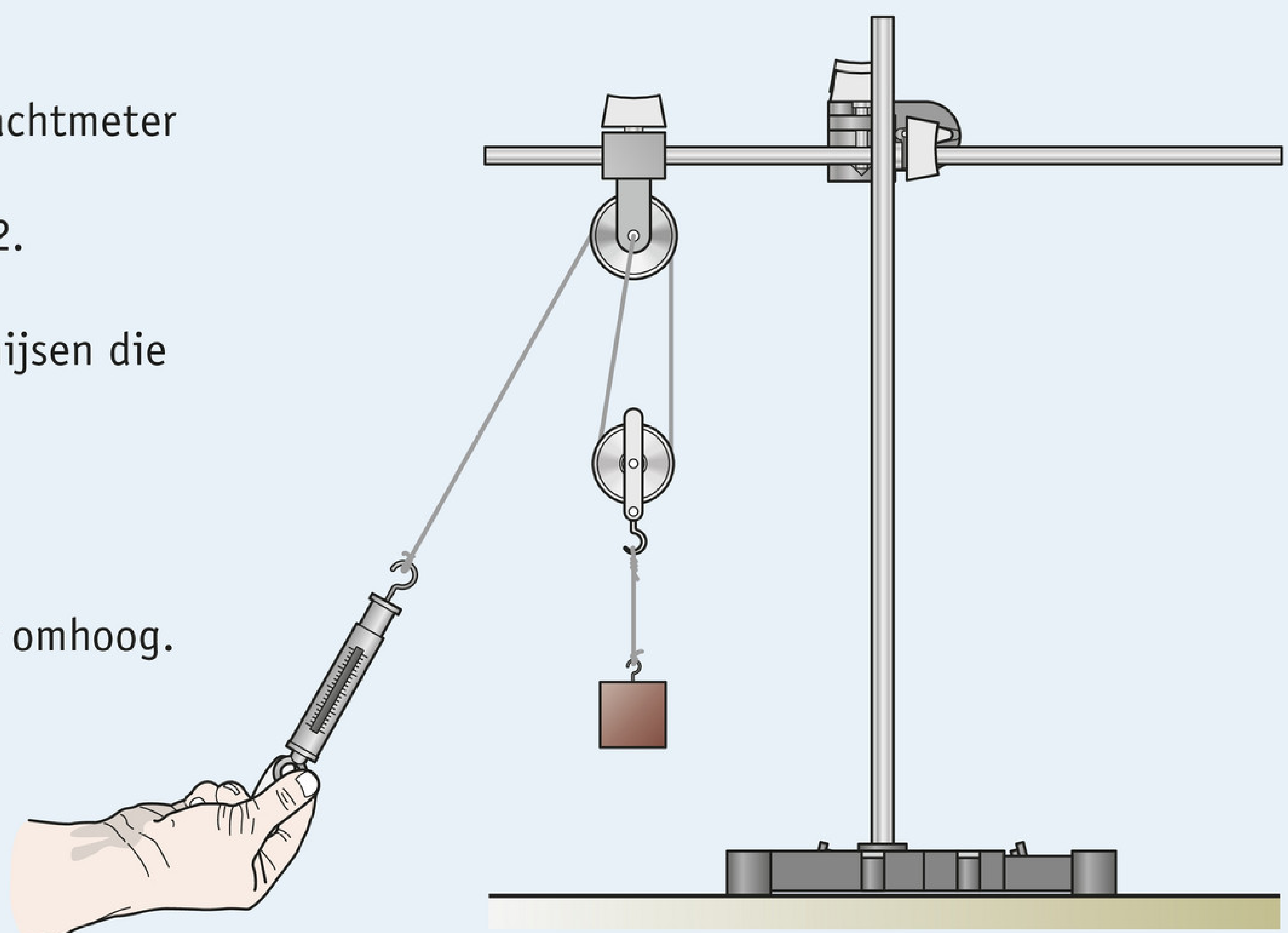
5 Noteer hoe groot de kracht is die de krachtmeter aangeeft.
6 Vergelijk de antwoorden op vraag 1 en 5. Wat is je conclusie?
7 Kun je met een takel iemand ophijsen die zwaarder is dan jezelf? Leg uit.

– Herhaal de proef met de takel. Meet hoeveel touw je naar beneden moet trekken om het blokje 25 cm omhoog te hijsen.

8 Hoeveel cm touw moest je inhalen?
9 Beantwoord de onderzoeksvraag.



▲ **figuur 70**
een blokje ophijsen met een vaste katrol



▲ **figuur 71**
een blokje ophijsen met een takel

Proef 5 Een krachtmeter bouwen en ijken 45 min

Inleiding
Stel je voor: een fabriek van meetinstrumenten gaat een nieuw model krachtmeter op de markt brengen. Er is al een spiraalveer voor de nieuwe meter gekozen. Aan jou de taak om het ontwerp af te maken met een nauwkeurige en goed af te lezen schaalverdeling.

Doel
Je maakt een schaalverdeling die aan de volgende ontwerpeisen voldoet:

Ontwerpeisen
- Het meetbereik is minstens 0-1 N.
- De afstand tussen de streepjes van de schaalverdeling is maximaal 0,1 N.
- De krachtmeter is op zijn minst even nauwkeurig als een 'gewone' krachtmeter.

Nodig
De basisopstelling is getekend in figuur 72. Maak zelf een lijst van wat je nodig hebt.

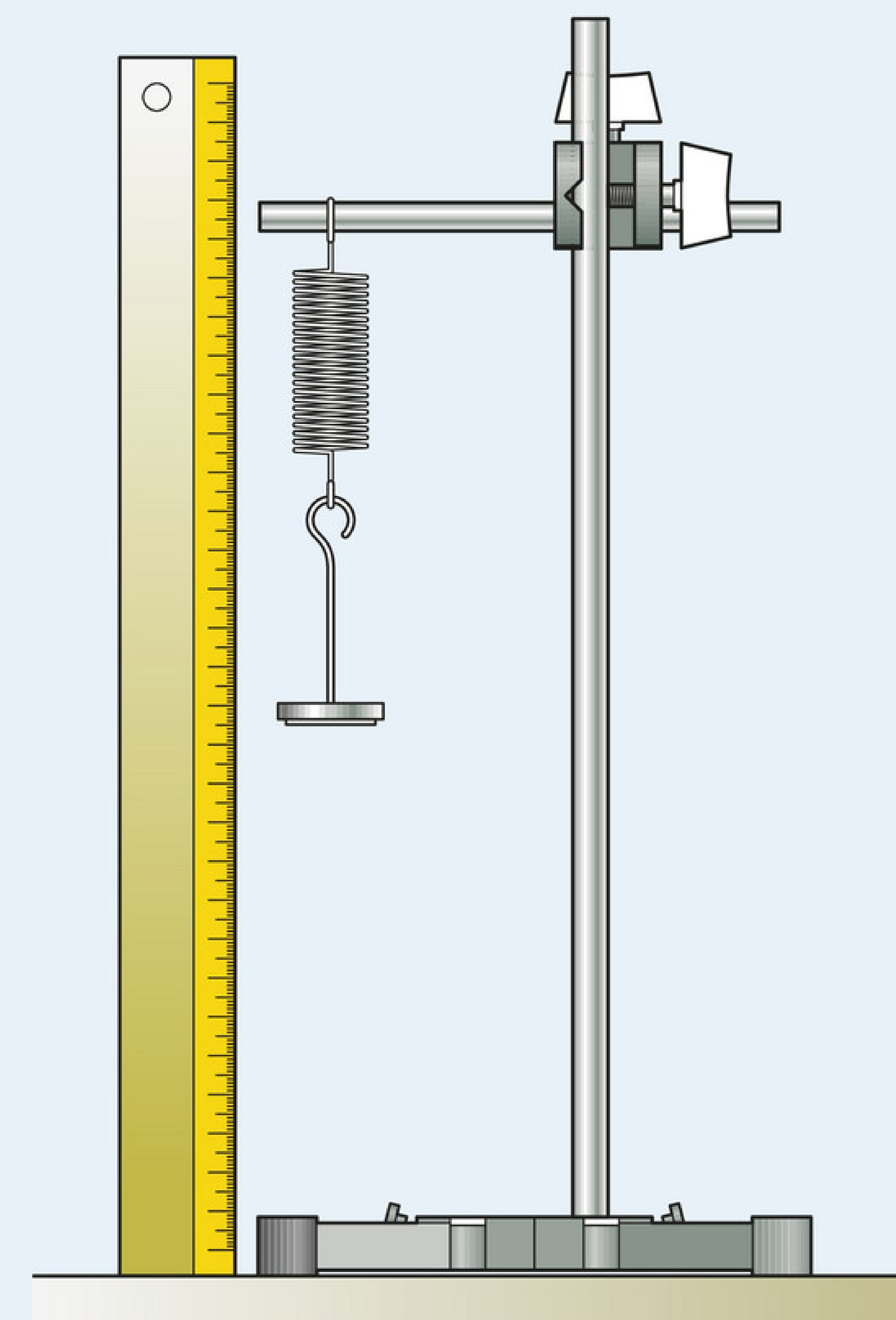
Uitvoeren en uitwerken
1 Leg uit hoe je de krachtmeter gaat ijken.
2 Noteer welke practicumspullen je nodig hebt.

- Laat de lijst met practicumspullen en je ijkmethode controleren door je docent.
- Bouw de krachtmeter en voorzie hem van een schaalverdeling. Test daarna of hij voldoet aan de ontwerpeisen.

3 Leg uit hoe je die test hebt uitgevoerd.

- Breng zo nodig verbeteringen aan.
- Maak zo nodig een nieuwe schaalverdeling.
- Laat de krachtmeter ten slotte beoordelen door je docent.

4 Als je een verslag moet maken van deze proef, zet daar dan in:
- **a** een foto van de opstelling met de geijkte schaalverdeling.
- **b** de manier waarop je de schaalverdeling hebt gemaakt.
- **c** de manier(en) waarop je de schaalverdeling hebt getest.
- **d** je conclusies: hoe nauwkeurig is de krachtmeter?



▲ **figuur 72**
de opstelling van proef 5

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: de doorbuiging van een brug 50 min

Inleiding
Als er een auto over een brug rijdt, buigt het brugdek een beetje door.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Zijn de doorbuiging en de dikte van het wegdek recht evenredig?

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat zoek je precies op en wat ga je meten? Hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Zie vaardigheid 1 achter in je boek.
Maak een werkplan voor dit onderzoek.
- De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan eventueel verbeteren.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.
3 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Tips
- Bouw een brugdek van dun karton en belast dat in het midden.
- Je kunt een dikker brugdek maken door laagjes karton op elkaar te lijmen.
- Teken een diagram met de doorbuiging verticaal en de belasting horizontaal.
- Zie vaardigheid 1, 7, 8 en 10 achter in je boek.

Proef 7 Een onderzoek uitvoeren: de sterkte van een papieren kokertje 50 min

Inleiding
Een blaadje papier verfrommel je gemakkelijk tot een propje. Als je er een kokertje van maakt, is het veel sterker.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe hangt de kracht die een kokertje van papier kan dragen af van de straal van het kokertje?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 6.

Tips
- Knip drie A4'tjes in de lengte doormidden en maak zes kokertjes met verschillende stralen. Meet dan voor elk kokertje de kracht waarbij het doorbuigt.
- Zie vaardigheid 1, 7, 8 en 10 achter in je boek.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Noteer van de volgende situaties of de vervorming elastisch of plastisch is.
- **a** Een turner zet zich krachtig af op de trampoline.
- **b** Een boom buigt ver mee met een hevige windvlaag.
- **c** Een trekker laat diepe sporen achter op een natte akker.
- **d** Theo rijdt een deuk in zijn auto.

2 Je schuift een ringmagneet over een aluminium staaf. Daarna plaats je een tweede identieke ringmagneet. De bovenste magneet blijft daarna zweven (figuur 73).
- **a** Welke twee krachten werken op de bovenste magneet?
- **b** Wat kun je zeggen over de grootte van deze twee krachten?
- **c** Wat kun je zeggen over de richting van deze twee krachten?
- **d** Is de bovenste magneet gewichtloos?
- **e** Verandert het gewicht van de onderste magneet door het plaatsen van de tweede magneet?



▶ figuur 73

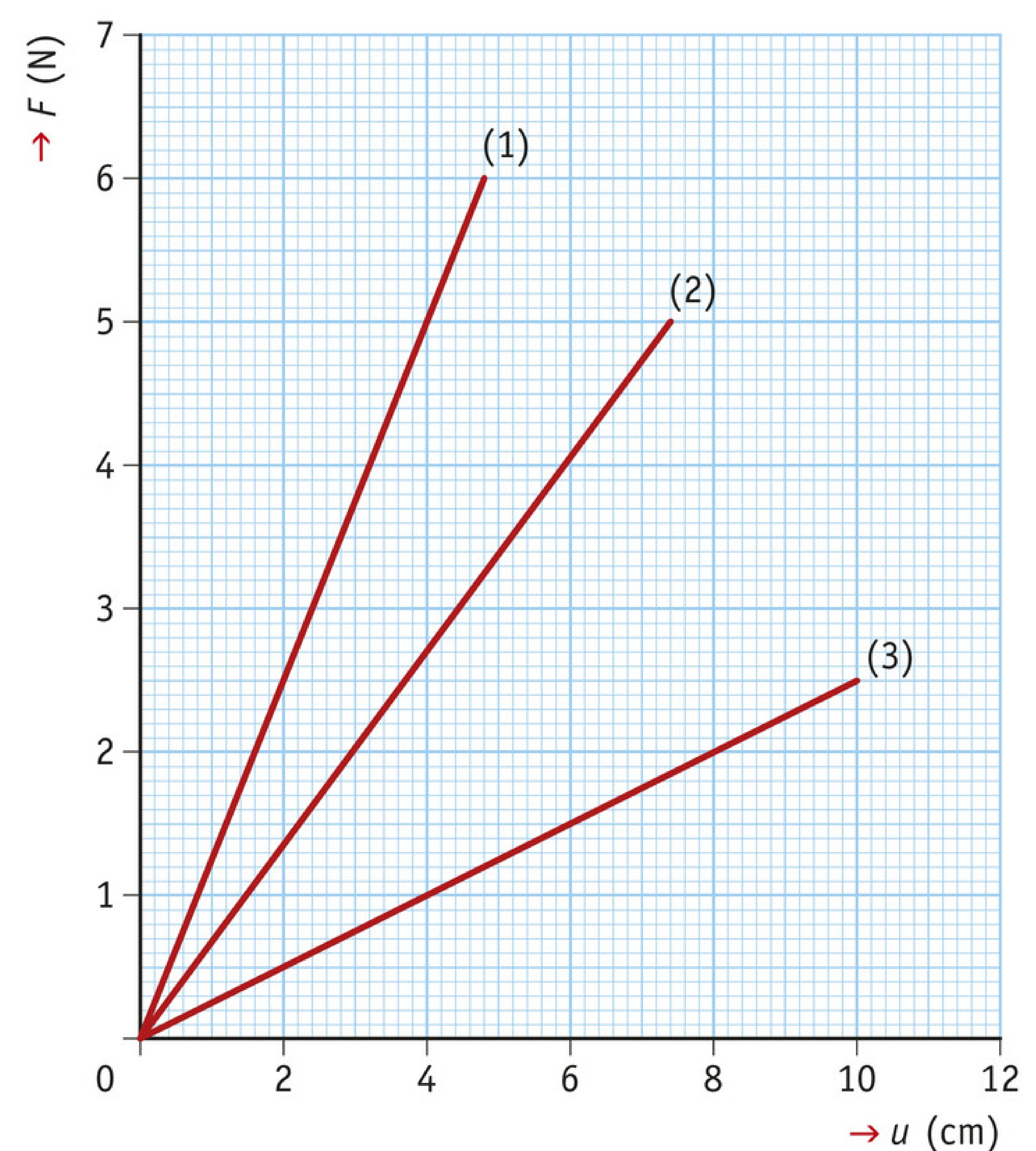
3 Een importeur van vorkheftrucks vermeldt op zijn site:

Vorkheftruck Linde H25D-02 Hefvermogen / Capacity 2500 kg Eigen gewicht / Weight 4470 kg

Hoe groot is de kracht (in kN) die de vorkheftruck op de vloer uitoefent bij een maximale belading?

4 Voor je een kracht kunt tekenen, kies je eerst een krachtenschaal.
- **a** Gea kiest als krachtenschaal 1 cm ≙ 20 N. Hoe lang moet ze de pijl tekenen van een kracht van 84 N?
- **b** Lucas tekent een kracht van 240 N als een pijl van 4,8 cm. Welke krachtenschaal heeft hij gebruikt?
- **c** Lucas tekent een kracht van 320 N die loodrecht staat op de kracht die hij bij b heeft getekend. Hoe groot is de resultante van de twee krachten?

5 Nienke heeft van drie veren 1, 2 en 3 gemeten hoe ze uitrekken als je er gewichtjes aan hangt. In figuur 74 zie je de grafiek van deze proef.
- **a** Welke veer is het stugst?
- **b** Bereken de veerconstante van deze veer.



▲ figuur 74

6 Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.
- **a** De aarde is verreweg de grootste van de acht planeten in ons zonnestelsel.
- **b** De baan waarin een planeet rond de zon draait, heeft de vorm van een ellips.
- **c** Behalve de gravitatiekracht van de zon werkt er ook een middelpuntzoekende kracht op de aarde.
- **d** Zolang mensen of voorwerpen in vrije val bewegen, hebben ze geen massa.

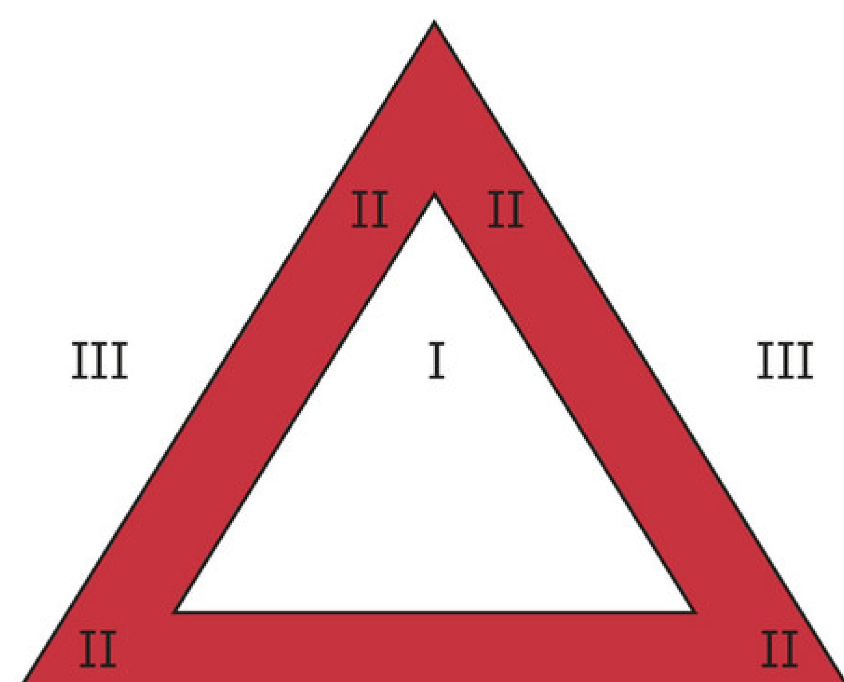
7 De globe in figuur 75 (diameter 26 cm) is een model op schaal van de aarde (diameter 13 000 km).
Bereken de afstand tussen de aarde en de zon (150 miljoen km), als je die op dezelfde schaal zou weergeven.



▶ figuur 75

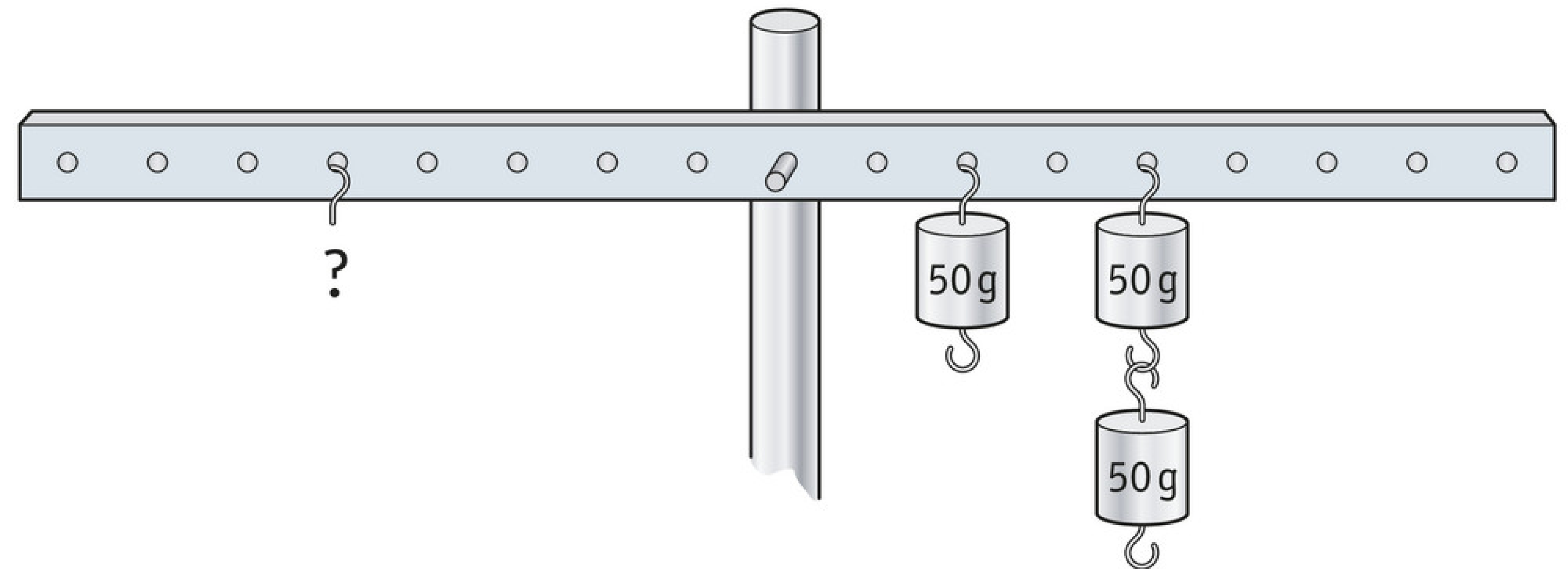
8 Kees staat op één been op een weegschaal. Die geeft 60 kg aan.
Welke uitspraken zijn, natuurkundig gezien, juist?
A Het gewicht van Kees is 60 kg.
B Het gewicht van Kees is 588 N.
C Het gewicht van Kees is 1176 N.
D Als Kees op de maan op de weegschaal zou staan, geeft deze iets anders aan dan 60 kg.

9 In figuur 76 zie je een doorsnede van een metalen gevarendriehoek.
Welk van de volgende uitspraken is juist?
A Het zwaartepunt van de driehoek ligt in gebied I.
B Het zwaartepunt van de driehoek ligt in gebied II.
C Het zwaartepunt van de driehoek ligt in gebied III.
D Over het zwaartepunt valt niets te zeggen.



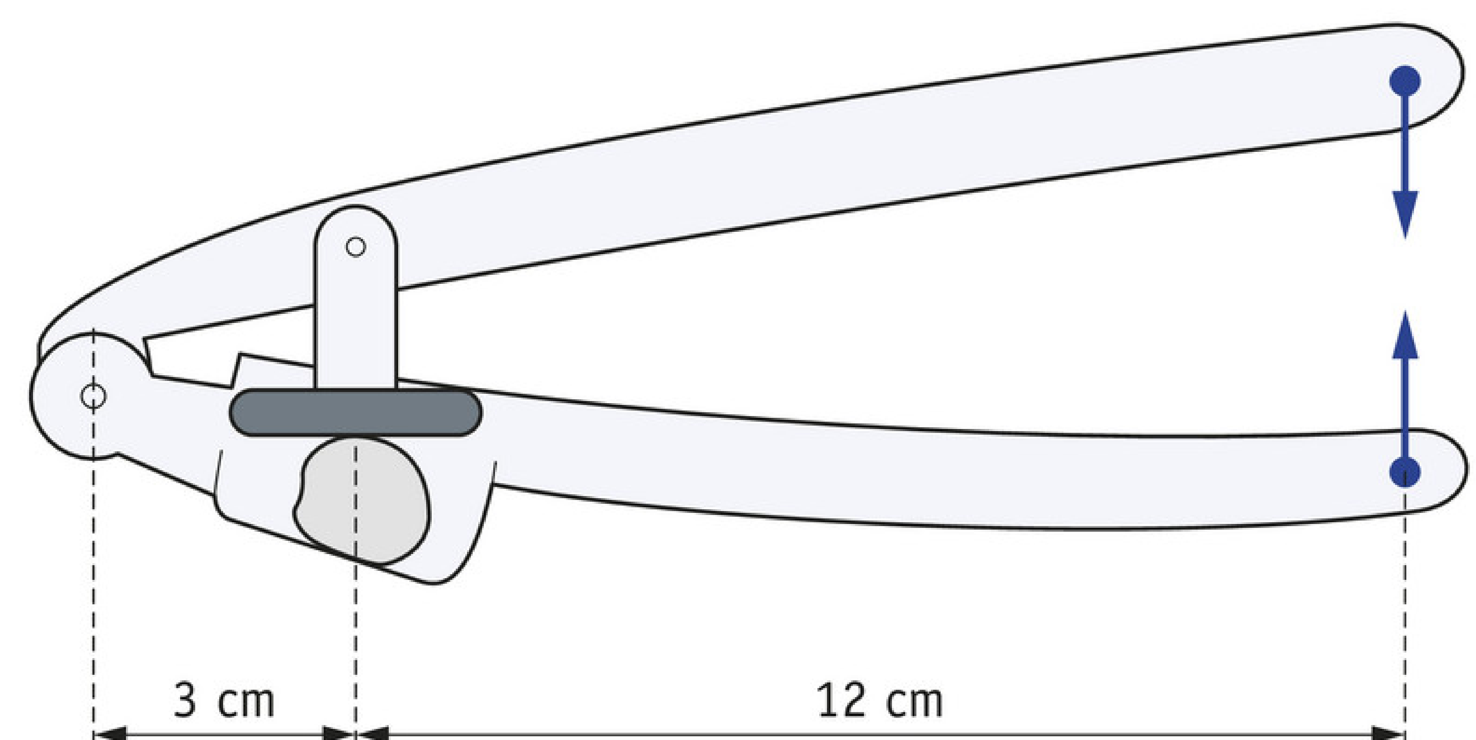
▲ figuur 76

10 Irene heeft een practicumopstelling gemaakt met een hefboom (figuur 77). Ze wil links op de aangegeven plaats nog een of meer gewichtjes van 50 g hangen, zodat de hefboom in evenwicht is.
Bereken hoeveel gewichtjes zij moet ophangen.



▲ figuur 77

11 De knoflookpers in figuur 78 wordt gebruikt om knoflook fijn te persen.
Als je de handvatten dichtknijpt, is de kracht op het teentje knoflook:
A 4× zo groot als de spierkracht.
B 5× zo groot als de spierkracht.
C 3× zo groot als de spierkracht.
D 9× zo groot als de spierkracht.

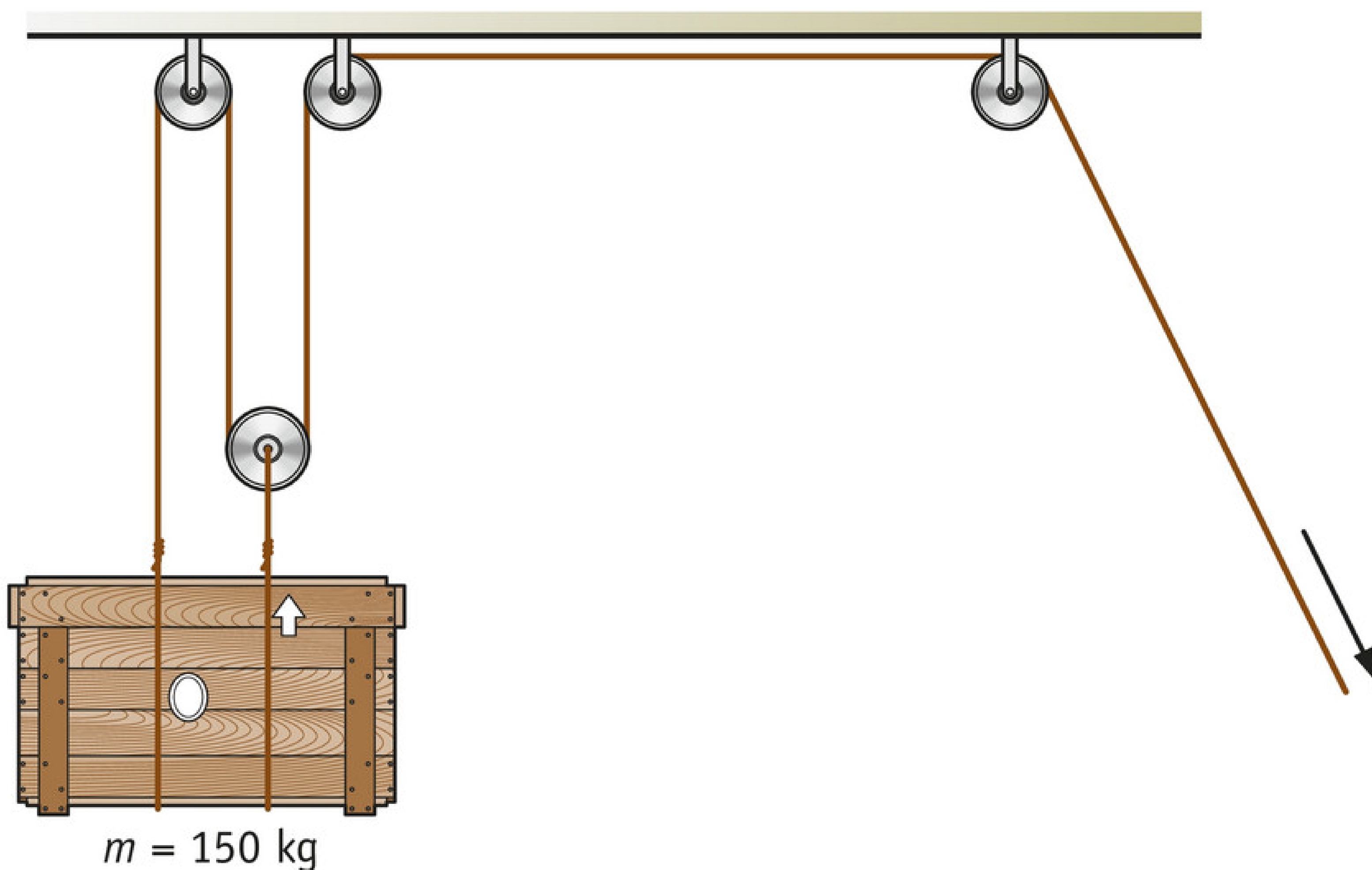


▲ figuur 78

12 Een takel maakt de hijskracht N× zo groot als de trekkracht op het touw.
Hoe groot is het getal N:
a bij een takel met één vaste en één losse katrol?
b bij een takel met drie vaste en drie losse katrollen?

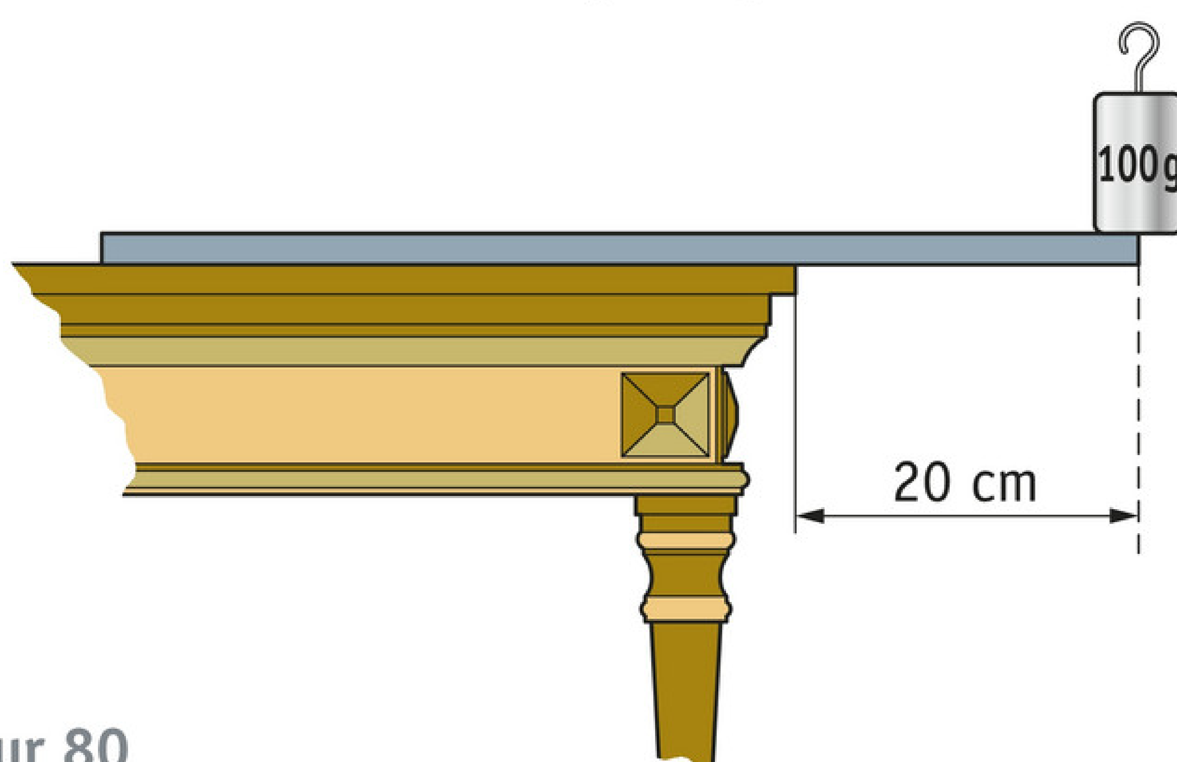
13 In figuur 79 zie je hoe een kist van 150 kg omhoog wordt gehesen met behulp van een aantal katrollen. De massa van elke katrol is 5,0 kg.

- **a** Hoe groot is de benodigde trekkracht op het touw? Rond je antwoord af op een geheel getal.
- **b** De kist moet 6,0 m omhooggehesen worden. Hoeveel meter touw moet je daarvoor inhalen?
- **c** Hoeveel arbeid heb je dan verricht?



▲ figuur 79

14 Roelof bedenkt een manier om van een plankje met een lengte van 60 cm de massa te bepalen zonder een balans te gebruiken. Hij heeft een gewichtje van 100 g en plaatst dit op het uiteinde van het plankje. Daarna schuift hij het plankje voorzichtig over de rand van de tafel (figuur 80). Het plankje staat op het punt te kantelen als hij de voorkant 20 cm over de rand geduwd heeft.
Bereken de massa van het plankje.



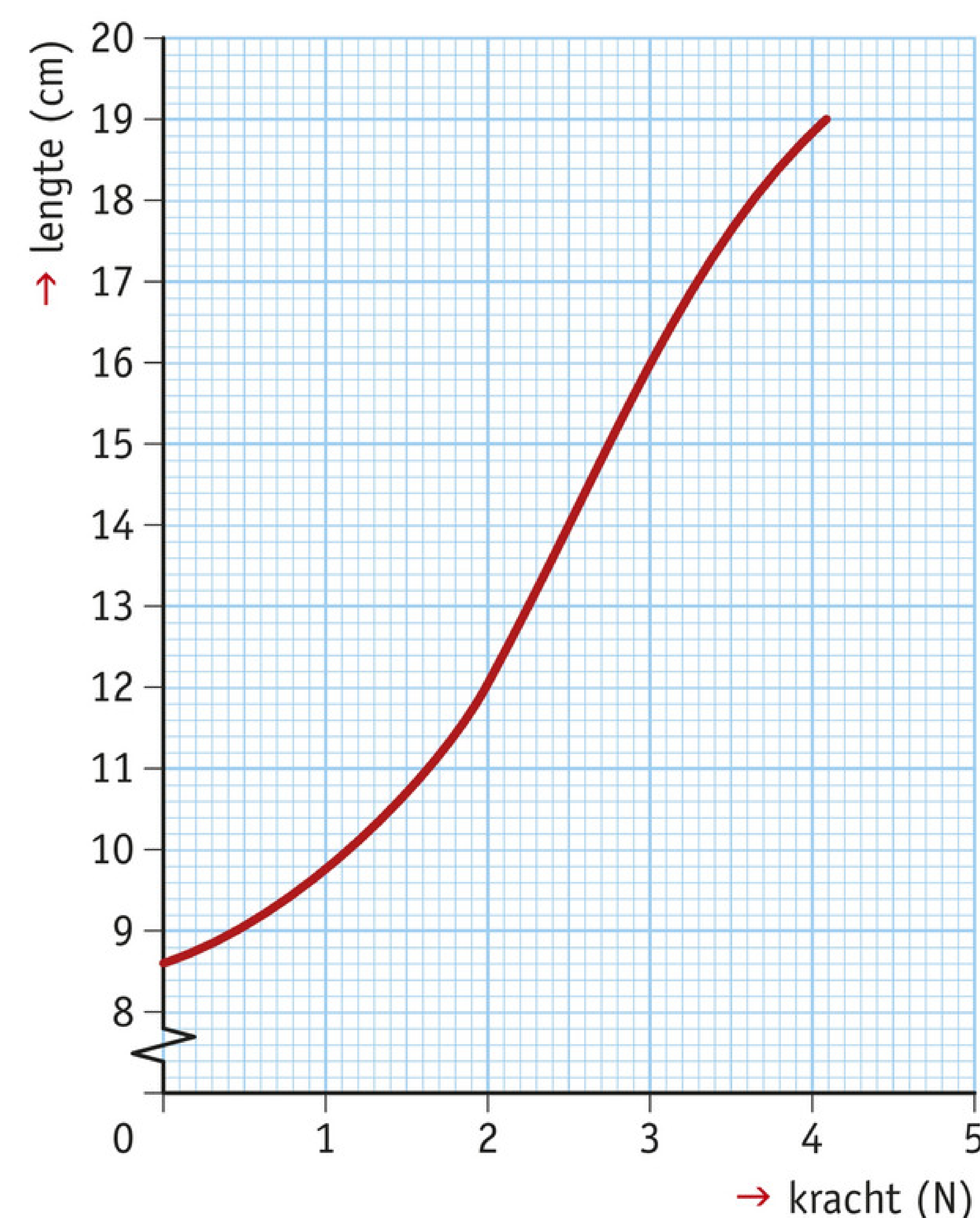
▲ figuur 80

15 Bij deze opgave heb je werkblad 1-9 nodig.
Op het werkblad zie je hoe Dennis een stoel op één hand in evenwicht houdt. De stoel heeft een massa van 3,2 kg.

- **a** Welke krachten werken er op de stoel?
- **b** Hoe groot zijn deze krachten?
- **c** Geef op het werkblad aan op welke lijn het zwaartepunt van de stoel zich kan bevinden.

16 Jorieke heeft een proef gedaan met een elastiek. In figuur 81 zie je haar meetresultaten.

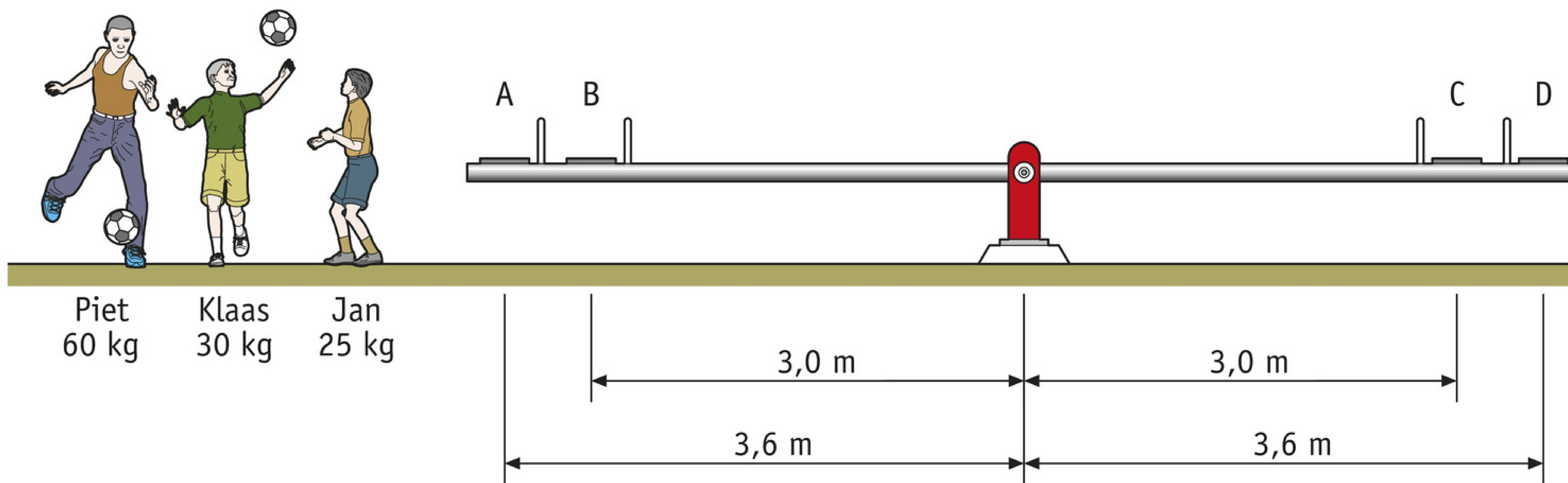
- **a** Hoe lang wordt het elastiek als je er een etui van 200 g aan hangt?
- **b** Als je behalve het etui ook nog een schaartje aan het elastiek hangt, wordt de lengte 16 cm. Hoe lang is het elastiek als je alleen het schaartje eraan hangt?
- **c** Je voert de trekkracht op het elastiek langzaam op van 0 tot 2 N.
  Wordt het elastiek dan steeds stugger of steeds slapper?



▲ figuur 81

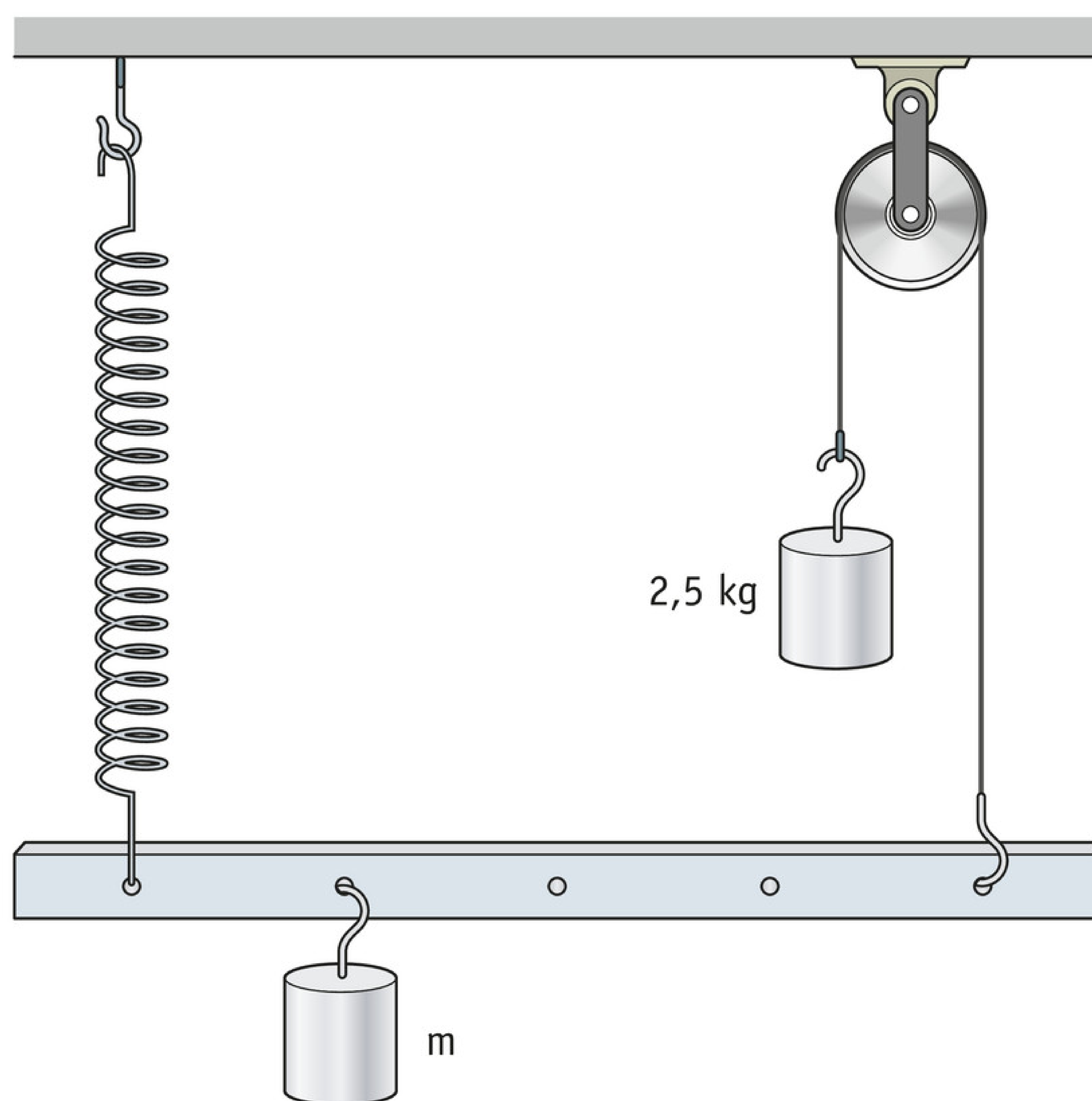
17 In figuur 82 zie je een wip en drie kinderen. Je kunt de kinderen zo over drie van de vier zitplaatsen verdelen dat de wip in evenwicht is.

- **a** Geef bij elk kind aan op welke plaats het dan moet zitten.
- **b** Laat met een berekening zien dat de wip dan in evenwicht is.



▲ figuur 82

***18** In een staaf van 4,0 kg zijn op gelijke afstanden gaten geboord waarbij het middelste gaatje precies samenvalt met het zwaartepunt. Je hangt aan het tweede gaatje een gewicht met een massa van *m* kg. De staaf wordt in evenwicht gehouden door een veer aan de linkerkant en een vaste katrol aan de rechterkant. Aan de katrol hangt een gewicht met een massa van 2,5 kg (figuur 83).
Bereken de massa *m* van het gewicht.
Naar: IJSO



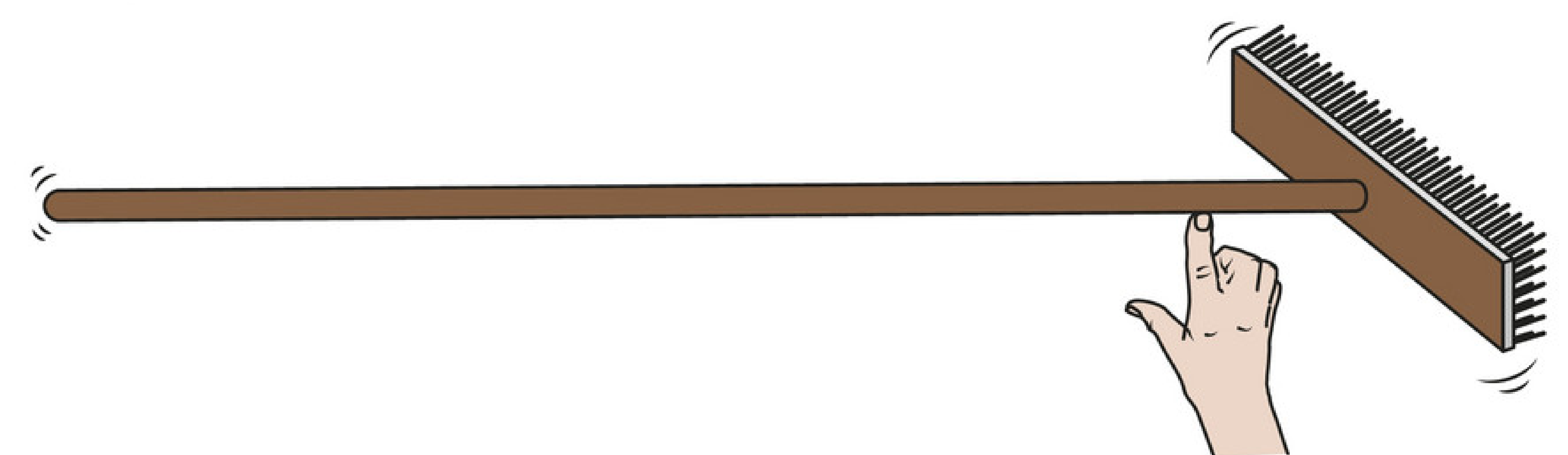
▲ figuur 83

19 Gert Jan laat een bezem balanceren op zijn vinger (figuur 84).

a Wat kun je zeggen over het punt waar zijn vinger zit?

b Gert Jan zaagt de bezem nu in dat punt door en weegt beide delen op een weegschaal.
Wat geeft de weegschaal aan?
- A Beide delen wegen evenveel.
- B Het gedeelte met de steel weegt het meest.
- C Het gedeelte met de borstel weegt het meest.
- D Dat is niet te beredeneren.

Naar: IJSO



▲ figuur 84

20 De ruimtepakken van astronauten die een ruimtestation moeten repareren, zijn veel zwaarder dan de pakken van de astronauten die rond 1970 op de maan stonden.
Waarom ondervinden die astronauten toch geen extra hinder van hun zware pakken?



Torenkranen: evenwichtskunst op grote



hoogte

De cabine is klein, maar het uitzicht is er adembenemend. Kraanmachinist Arno geniet er elke dag van. "Vooral als 's ochtends de zon opgaat. Dat blijft mooi, hoe vaak je het ook ziet," vertelt hij. Niet dat hij veel tijd heeft om om zich heen te kijken. "Het werk gaat voor," zegt hij. "In de bouw let iedereen op veiligheid, maar als kraanmachinist moet je extra alert zijn. Je mag nooit vergeten dat er onder je kraan mensen aan het werk zijn."

Een piepkleine liftkooi brengt Arno elke dag naar zijn werkplek, boven in een torenkraan. Met behulp van knoppen, hendels en pedalen hijst hij bouwmaterialen op en zet ze op de juiste plek neer. "Hijsen is teamwerk," zegt hij, "al zit je wel alleen in de cabine. Met de portofoon heb ik contact met mijn collega's beneden. Ze gebruiken ook gebaren om me aanwijzingen te geven."

Het afgelopen halfjaar heeft Arno de woontoren waar hij aan werkt, steeds verder zien groeien. Zijn kraan groeide ondertussen met het gebouw mee. Af en toe werd de mast hoger gemaakt door er een stuk bovenop te zetten. Arno begon op 50 meter hoogte en zit nu op 80 meter. Van daaruit kijkt hij neer op het dak van de woontoren, zo'n 15 meter onder zijn cabine.

De Potain MD 560B

Arno's kraan is een 560B van het Franse bedrijf Potain. Dit zijn de fabrieksgegevens.

Technische gegevens	
vermogen	120 kW (hijsmotor 94 kW)
aansluitspanning	400 V
hefvermogen	25 000 kg
zwenksnelheid	max. 0,7 omw/min
lastmoment	max. 500 tonmeter
gieklengte	35 t/m 80 m
haakhoogte	max. 78,6 m

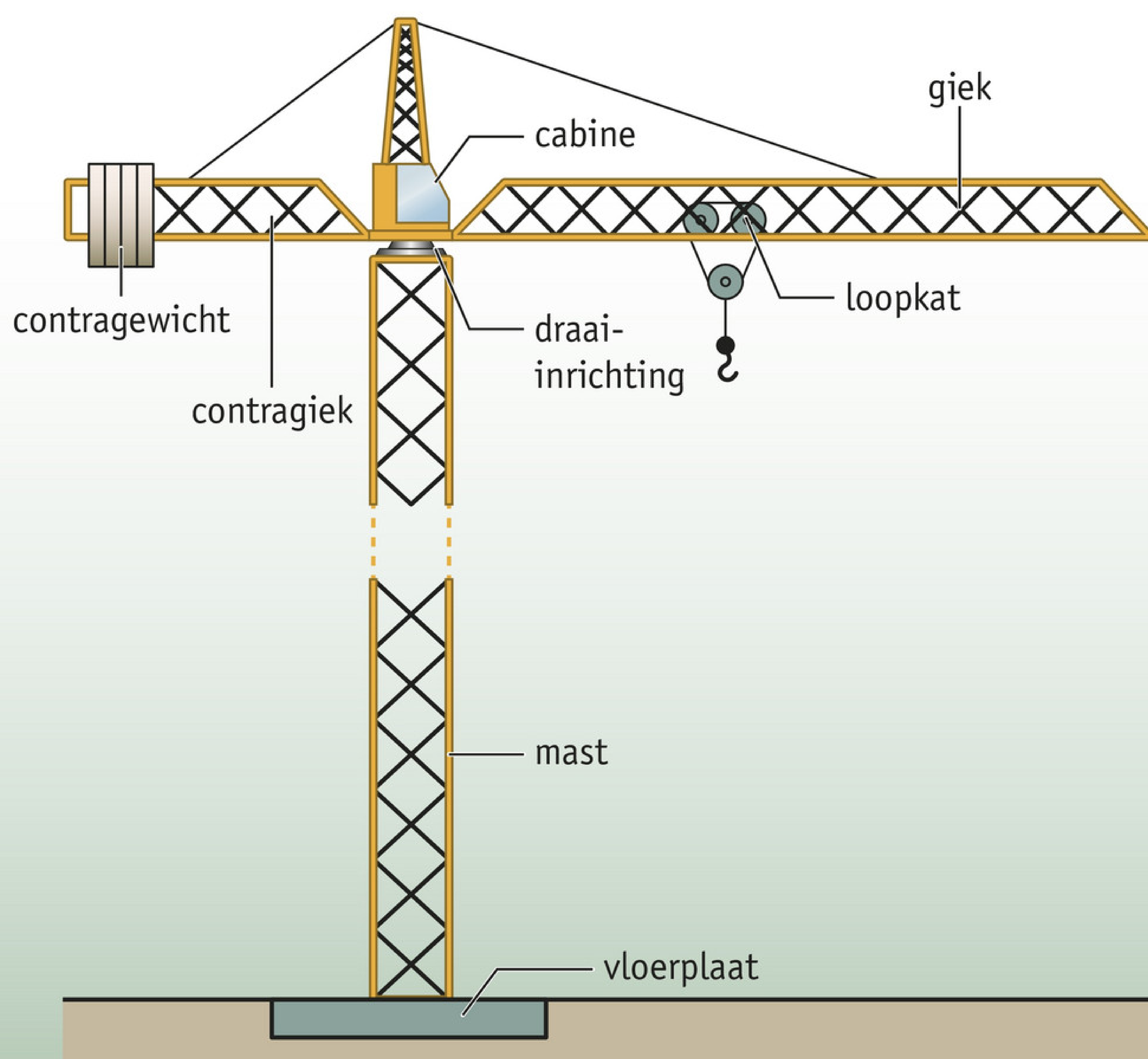
Balanceren

De giek (de lange arm met de hijsinstallatie) van Arno's kraan is 65 meter lang. Langs de giek beweegt een karretje, de loopkat, heen en weer, met daaraan de hijskabels, de takel en de hijshaak. Hiermee wordt de last omhoog gehesen en verplaatst. De contragiek (de arm aan de andere kant van de cabine) is veel korter. Hieraan hangt een contragewicht dat bestaat uit grote betonblokken.

Als er geen last aan de kraan hangt, zijn de momenten op de lange arm en de korte arm even groot. De kraan is dan in balans. Dat verandert als de kraan een last gaat ophijsen. Het moment op de lange arm neemt dan toe en het oorspronkelijke evenwicht wordt verstoord. Dat de kraan dan niet omvalt, komt doordat hij onderaan op een zware betonnen plaat is verankerd. Dat zorgt voor een tegenmoment dat het evenwicht weer snel herstelt.

Het duurt altijd een paar seconden voordat de kraan weer helemaal in evenwicht is. Arno kan daarover meepraten: "Op het moment dat de last loskomt van de grond, voel je de kraan even wiebelen. In het begin moest ik daar erg aan wennen. Je realiseert je opeens dat je het evenwicht ook echt verliezen kunt. Het is natuurlijk ook niet niks wat je daar aan de haak hebt hangen."

> "Op het moment dat de last loskomt van de grond, voel je de kraan even wiebelen."



Hoe maak je een kraan hoger?

Om een torenkraan op te hogen, worden losse mastdelen gebruikt. De kraan hijst zo'n mastdeel zelf naar boven. Daarna wordt de hele top van de kraan, met de giek en de contragiek, hydraulisch omhoog gekrikt. Ten slotte wordt het nieuwe mastdeel in de vrijgekomen ruimte geschoven en vastgezet. De kraan is dan weer klaar voor de volgende bouwfase.



Bij twijfel: kijk in de hijstabel!

Arno's kraan heeft een fors hefvermogen. Als het moet, kan hij 25 ton in één keer omhoog hijsen. "Maar dat mag alleen als de last zich niet te ver van de mast bevindt: 20 meter is het maximum," vertelt hij. "Bij een grotere afstand wordt het moment van de last te groot, en daar is de kraan niet op gebouwd. De veiligheidsgrens ligt bij 25 ton × 20 meter = 500 tonmeter. Dat noemen ze het maximale lastmoment."

giek-lengte	maximale last bij een vlucht van						
	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m
80 m	25,0 t	16,8 t	12,2 t	9,3 t	7,4 t	6,0 t	5,0 t
65 m	25,0 t	18,0 t	12,9 t	10,1 t	8,1 t		
50 m	25,0 t	19,0 t	13,6 t	10,7 t			
35 m	25,0 t	19,8 t					

Als Arno aan het werk is, moet hij dus twee dingen in de gaten houden: de grootte van de last én de grootte van de 'vlucht' (zo noemen kraanmachinisten de afstand tussen de mast en de last). Als de last klein is, *kan* hij voor een grote vlucht kiezen. Maar als de last groot is, *moet* hij de vlucht klein houden. Anders bestaat het gevaar dat het evenwicht verloren gaat. Bij elke kraan hoort een hijstabel. Daarin kan de machinist opzoeken hoe groot de vlucht mag zijn voor een gegeven last, of omgekeerd. Hierboven zie je een vereenvoudigde versie van Arno's hijstabel. De echte hijstabel ziet er net zo uit, alleen is die veel gedetailleerder.

Als Arno een last van 10 ton moet verplaatsen, zoekt hij in de tabel eerst de gieklengte op. "De giek bestaat uit losse delen die aan elkaar gekoppeld worden," legt hij uit. "Voor elke klus wordt van tevoren berekend hoe lang de giek moet zijn. Bij deze klus is dat 65 meter." In de hijstabel staat dat er bij een gieklengte van 65 meter en een vlucht van 50 meter maximaal 10,1 ton aan de haak mag hangen. "Met mijn 10 ton blijf ik daar nog net iets onder," zegt Arno, "dus kan ik de last op 50 meter van de mast neerzetten."

Veiligheid voor alles

Als kraanmachinist is Arno verantwoordelijk voor de veiligheid. "Dat staat voor mij op nummer één," zegt hij beslist. "Gelukkig gebeuren er met torenkranen weinig ongelukken. Maar het hoeft maar een keer echt fout te gaan en je hebt meteen een heleboel ellende. Daarom moet je je hoofd er altijd goed bij hebben. Je kunt dit werk niet uit de losse pols doen."

Gelukkig zijn er ontwikkelingen die de veiligheid vergroten. Camera's laten de machinist zien wat er ver onder hem gebeurt. Elektronische systemen slaan alarm als de last of het lastmoment te groot wordt. Maar de machinist zelf blijft de belangrijkste schakel in de veiligheidsketen. Of zoals Arno het zegt: "Al die techniek in de cabine, dat is prachtig. Maar zit er een gek achter de knuppel, dan heb je er niks aan. Het evenwicht moet ook tussen de oren zitten." Dat geldt voor iedereen die op hoge gebouwen werkt.

Opgaven

1 Sommige hijskranen hebben een contragewicht dat langs de contragiek heen en weer kan bewegen.
Leg uit:
- **a** welk voordeel zo'n verplaatsbaar contragewicht heeft vergeleken met een 'vast' contragewicht.
- **b** waarom het contragewicht niet van zijn plaats komt, als de last recht omhoog wordt gehesen.
- **c** waarom het contragewicht wel in beweging komt, als de afstand tussen de last en de mast wordt veranderd.

2 Zoek op internet informatie over het huren van mobiele hijskranen.
- **a** Bedenk zelf een realistische hijsklus. Noteer de last (in kg) en de vlucht (in m).
- **b** Bereken hoe groot het maximale lastmoment van jouw 'huurkraan' moet zijn.
- **c** Zoek een verhuurbedrijf op internet dat de juiste hijskraan heeft voor deze klus.
- **d** Noteer welke hijskraan je gekozen hebt en leg uit waarom dit een goede keuze is.

***3** Bekijk de hijstabel die in de tekst staat afgedrukt.
- **a** Welke invloed heeft de gieklengte op de maximale last die je (bij een bepaalde vlucht) kunt ophijsen?
- **b** Hoe komt het dat de gieklengte invloed heeft op de maximale last? Gebruik in je uitleg het begrip 'moment'.





2

Elektrische energie

Productie, vervoer en gebruik

Je kunt niet zonder elektriciteit. Dat merk je als er een stroomstoring is. De verlichting en de verwarming vallen uit en apparaten doen het niet meer. Veel mensen kunnen hun werk niet meer doen. Daarom is iedereen opgelucht als het licht weer aangaat.

1 Elektrische energie produceren



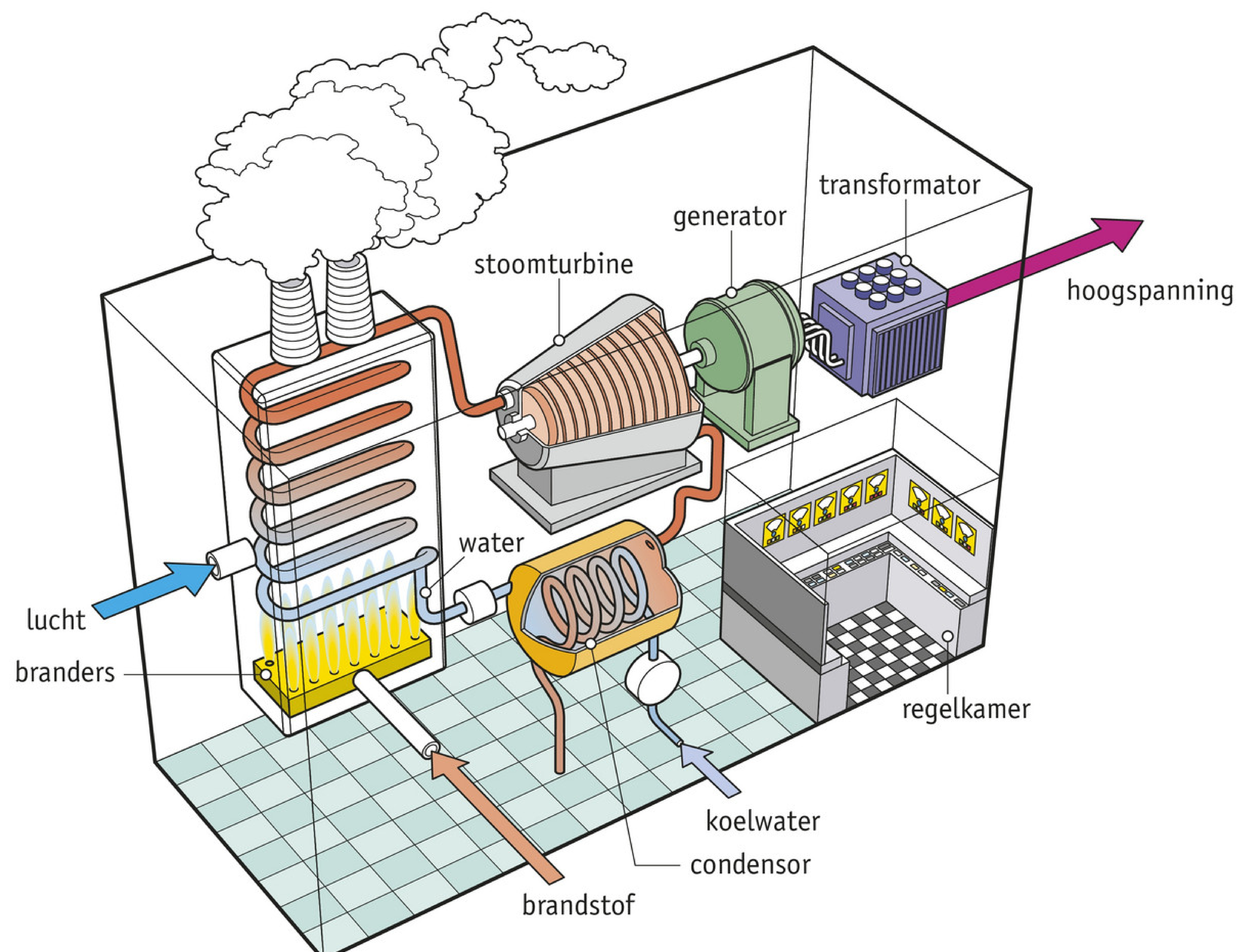
▲ **figuur 1**
de Amercentrale in Geertruidenberg

In Nederland produceren elektriciteitscentrales het grootste deel van de elektrische energie (figuur 1). De bijdrage van zonnecellen en windturbines is nu nog erg klein, maar moet in de toekomst sterk stijgen.

De elektriciteitscentrale

In figuur 2 zie je hoe een **elektriciteitscentrale** werkt:

1 De **branders** verbranden aardgas, steenkool of een andere brandstof. De vrijkomende warmte verhit het water in de ketel. Hierdoor ontstaat stoom – hete waterdamp – met een temperatuur van ongeveer 500 °C en een zeer hoge druk.
2 De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van een **turbine**. Daardoor gaat de as van de turbine ronddraaien.
3 De as van de turbine drijft een **generator** (een grote dynamo) aan die elektrische energie produceert.
4 De 'afgewerkte' stoom, die nu een veel lagere temperatuur en druk heeft, wordt naar een **condensor** geleid. Daar wordt de stoom door koelwater afgekoeld en condenseert tot water. Een pomp pompt het water dan terug naar de ketel.



▶ **figuur 2**
de werking van een centrale waar gas, olie of kolen wordt verbrand

Het koelwater wordt meestal uit een rivier of een meer gepompt en na gebruik weer daarin teruggeleid. Het is dan niet vervuild, maar wel iets warmer geworden. Als er geen rivier of meer beschikbaar is, wordt het koelwater in een **koeltoren** afgekoeld (figuur 3). De witte 'rook' die je ziet boven de koeltorens bestaat uit kleine waterdruppeltjes.
Bij een **kerncentrale** wordt de energie opgewekt door het splijten van kernen van zware atomen. Bij die splijting komt energie vrij. Alleen de energieopwekking is anders, de rest van figuur 2 is bij een kerncentrale hetzelfde als bij een gewone centrale.



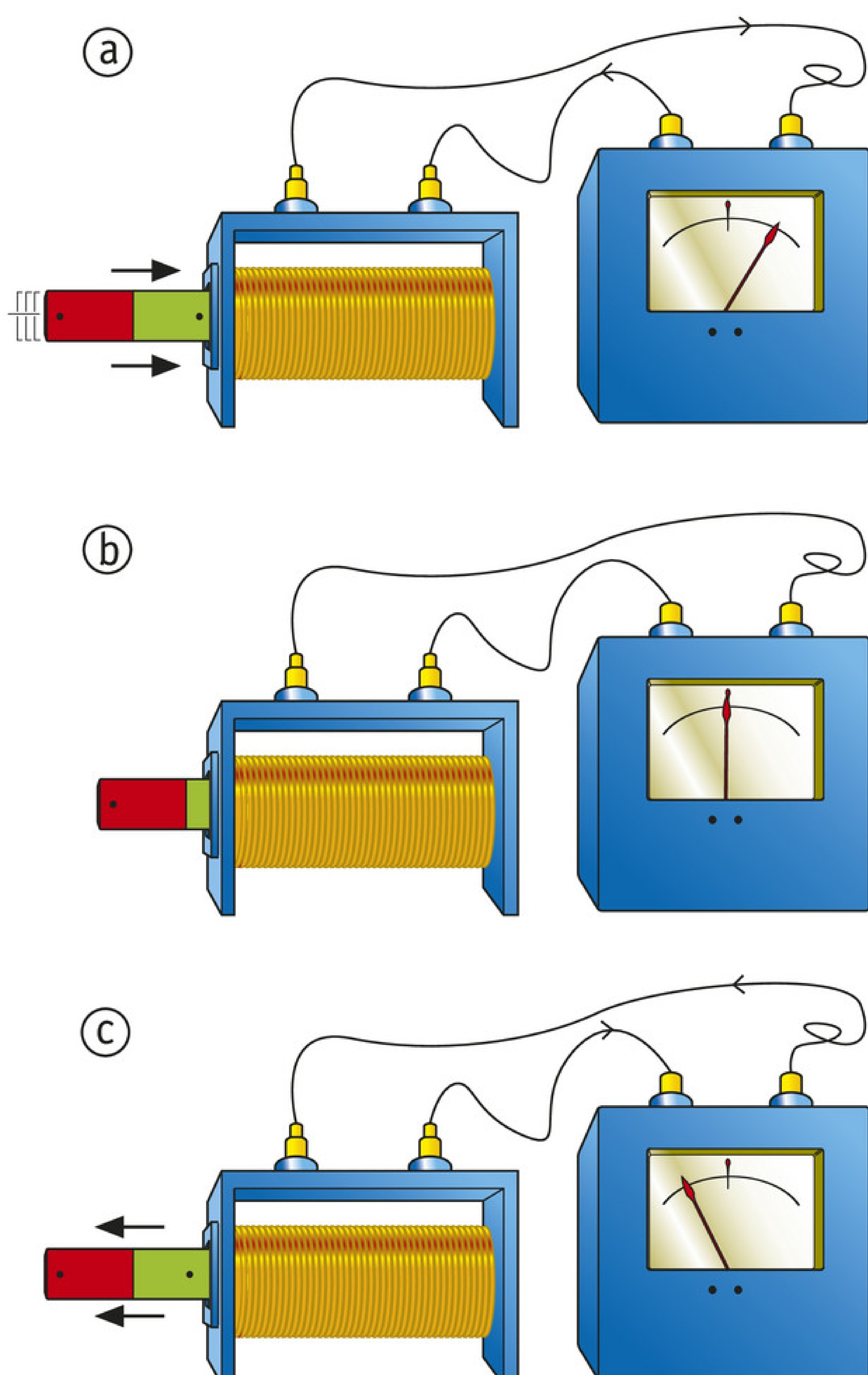
▶ **figuur 3**
De witte 'rook' uit koeltorens bestaat uit waterdruppeltjes.

De dynamo en de generator

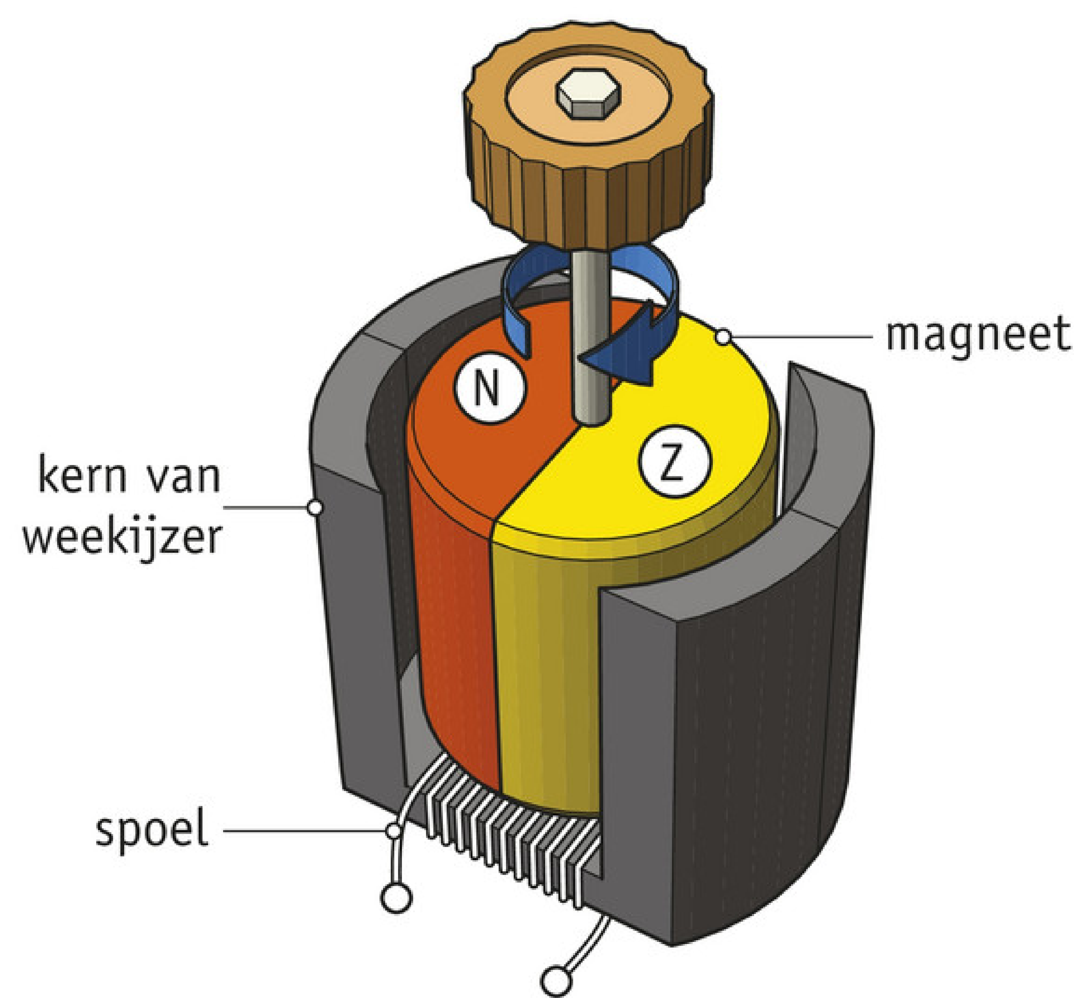
Je kent de dynamo misschien van een fietsdynamo, een opwindradio of een knijpkat. Een dynamo of generator zet bewegingsenergie om in elektrische energie. Het principe van een dynamo zie je in figuur 4.

- In figuur 4a schuif je een magneet in een spoel. Een **spoel** is een gewikkeld stuk metaaldraad. De spanningsmeter slaat naar rechts uit.
- In figuur 4b ligt de magneet in de spoel zonder te bewegen. De spanningsmeter staat dan op 0 volt (V).
- In figuur 4c trek je de magneet uit de spoel. De spanningsmeter slaat uit naar links.

Als het magnetisch veld in de spoel verandert, ontstaat er dus een spanning tussen de uiteinden van de spoel. Dat verschijnsel heet **inductie**. De opgewekte spanning noem je een **inductiespanning**.

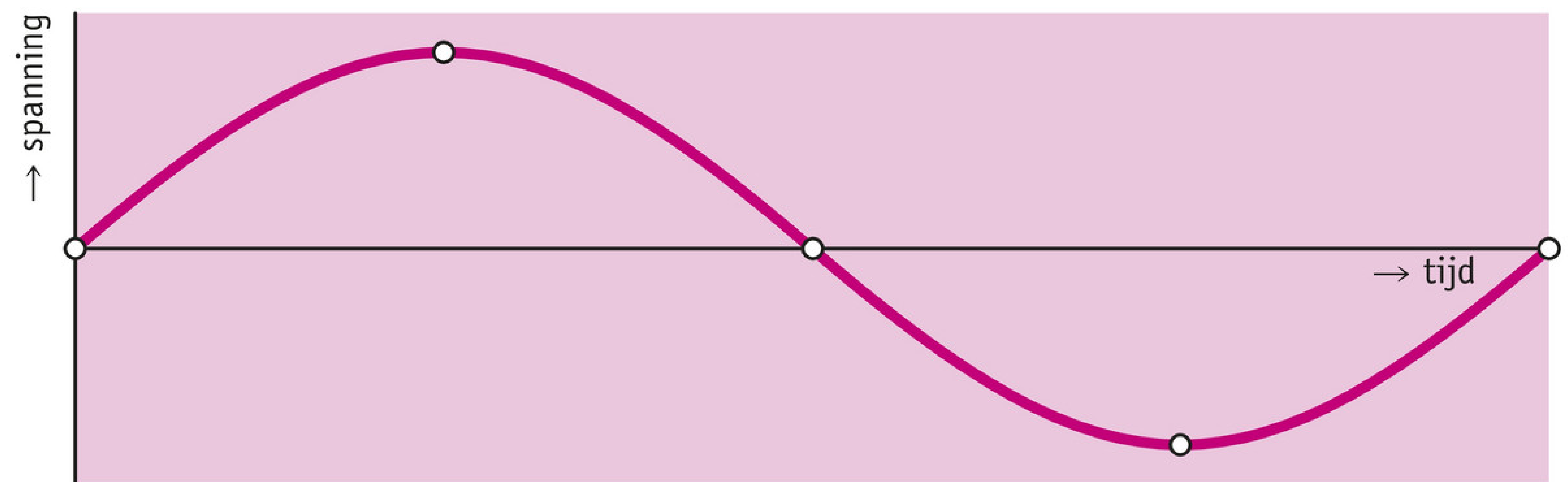


◀ **figuur 4**
De beweging van de magneet veroorzaakt een spanning over de spoel.



▲ **figuur 5**
een dynamo

In de dynamo van figuur 5 draait een magneet boven een spoel. Het magnetische veld in de spoel verandert daardoor telkens van grootte en richting. Hierdoor ontstaat er een inductiespanning over de uiteinden van de spoel. Die spanning is niet constant, maar verandert voortdurend. Bij een constant toerental van de magneet ontstaat er een regelmatig patroon (figuur 6). Zo'n spanning noem je een **wisselspanning**.



▲ **figuur 6**
De spanning die een dynamo levert varieert in de tijd.

Elektrisch vermogen

De hoeveelheid geleverde energie per seconde noem je het **vermogen**. Het vermogen hangt af van de geleverde spanning U en de stroom I. In formulevorm:

$$P = U \cdot I$$

Als je de spanning U invult in volt (V) en de stroom I in ampère (A), vind je het vermogen P in watt (W). Het vermogen van een centrale of een windturbine druk je meestal uit in megawatt ofwel MW (figuur 7). In vaardigheid 2 achter in je boek lees je meer over de voorvoegsels (zoals mega).
Ook een apparaat dat energie gebruikt, heeft een vermogen. Dat geeft aan hoeveel energie het apparaat per seconde gebruikt. Voor een elektrisch apparaat bereken je dat vermogen met dezelfde formule: $P = U \cdot I$.

▶ **figuur 7**
Een windturbine met een vermogen van 3,0 MW is ongeveer 100 m hoog.





Stop sluipverbruik van apparaten

Veel apparaten verbruiken energie als ze niet gebruikt worden, maar de stekker wel in het stopcontact zit. Dit noemen we stand-by verbruik of sluipverbruik.

De top 5 van grootste sluipverbruikers bestaat uit:

1 computer met randapparatuur: € 33,- per jaar
2 tv plus video- of dvd-speler: € 15,- per jaar
3 koffiezetapparaat: € 6,- per jaar
4 tuner, versterker en cd-speler: € 6,- per jaar
5 (combi) magnetron: € 4,- per jaar

Stand-by verspilling is simpel te voorkomen met stand-by killers.

Bron: www.nuon.nl

▲ **figuur 8**
sluipgebruikers

Elektrische energie

Energiegebruik is een belangrijk maatschappelijk thema, omdat het samenhangt met de toekomst van de aarde. Veel mensen spreken trouwens van 'energieverbruik', maar dat suggereert ten onrechte dat energie helemaal kan verdwijnen.
Een apparaat kan wel een groot vermogen hebben, maar als je het weinig gebruikt, valt het energiegebruik wel mee. Omgekeerd zal een apparaat met een klein vermogen een onverwacht hoog energiegebruik hebben als het dag en nacht aanstaat (figuur 8). Het energiegebruik van een apparaat wordt dus bepaald door het vermogen en door de tijd dat het energie gebruikt.

Je kunt het energiegebruik berekenen door het vermogen te vermenigvuldigen met de tijd. In formulevorm:

$$E = P \cdot t$$

Als je het vermogen P invult in W en de tijd t in s, vind je het energiegebruik E in joule (J).

Voorbeeldopgave 1
Johan gebruikt een mixer van 175 W om slagroom te kloppen. Na 3,0 min kloppen is de slagroom klaar en zet hij het apparaat weer uit. Bereken het energiegebruik van de mixer (in kJ).

gegevens $P = 175$ W
$t = 3{,}0$ min $= 3{,}0 \times 60 = 180$ s

gevraagd $E = ?$

uitwerking $E = P \cdot t = 175 \times 180 = 31\,500 = 3{,}2 \cdot 10^4$ J = 32 kJ

Over het werken met machten van 10 leer je meer in vaardigheid 3. In vaardigheid 6 leer je hoe je je antwoorden moet afronden.

De joule als eenheid van energie

Met één joule elektrische energie kun je niet veel doen. Je kunt bijvoorbeeld:
- een lampje van 1 watt 1 seconde lang laten branden;
- een voorwerp van 100 gram circa 1 meter omhooghijsen;
- de temperatuur van 1 gram water met 0,24 °C laten stijgen.

Daarom gebruik je meestal kilojoule (kJ) en megajoule (MJ). De batterij van een smartphone bevat bijvoorbeeld 15 tot 25 kJ elektrische energie als hij is opgeladen.

VOEDINGSWAARDE:	Per 100 g	Per 2 boterhammen (30g)
ENERGIE:	2700 kJ (645 kcal)	810 kJ (194 kcal)
EIWITTEN:	24 g	7 g
KOOLHYDRATEN:	15 g	5 g
waarvan suikers:	7 g	2 g
VET:	55 g	17 g
waarvan verzadigd:	10 g	3 g
enkelvoudig onverzadigd:	19 g	6 g
meervoudig onverzadigd:	26 g	8 g
VOEDINGSVEZEL:	6 g	2 g
NATRIUM:	0,26 g	0,08 g
IJZER:	2,9 mg	0,9 mg (6% ADH)
VITAMINE B1:	0,30 mg	0,09 mg (6% ADH)
VITAMINE B3:	16 mg	4,8 mg (27% ADH)
VITAMINE B6:	0,45 mg	0,14 mg (7% ADH)
VITAMINE E:	18,2 mg	5,5 mg (55% ADH)

% ADH = % van de Aanbevolen Dagelijkse Hoeveelheid

▲ **figuur 9**
de energie in pindakaas

De joule wordt niet alleen gebruikt voor elektrische energie, maar ook voor andere soorten energie. De energiewaarde van levensmiddelen wordt bijvoorbeeld vaak uitgedrukt in kilojoule per 100 gram (figuur 9).

kWh als eenheid van energie Proef 1 en 2

In huis wordt het elektriciteitsgebruik niet gemeten in joule (J), maar in kilowattuur (kWh). De meter die het gebruik aan elektrische energie meet, heet daarom niet joulemeter maar **kWh-meter** (figuur 10).



ⓐ



ⓑ

▶ **figuur 10**
Een kWh-meter (zowel het oudere model als het nieuwe model) meet het gebruik van elektrische energie.

Je kunt de formule $E = P \cdot t$ op twee manieren invullen:

- het vermogen P in W en de tijd t in s; dan vind je energiegebruik E in J;
- het vermogen P in kW en de tijd t in h; dan vind je het energiegebruik E in kWh.

Af en toe moet je een hoeveelheid energie omrekenen van kWh naar J of omgekeerd. Daarvoor geldt: 1 kWh = 3,6 MJ (zie ook vaardigheid 2 achter in je boek). Reken zelf maar na: als een apparaat van 1 kW precies 1 uur aanstaat, gebruikt het:

$E = P \cdot t$	$E = P \cdot t$
$E = 1\text{ kW} \times 1\text{ h}$	$E = 1000\text{ W} \times 3600\text{ s}$
$E = 1\text{ kWh}$	$E = 3{,}6 \cdot 10^6\text{ J} = 3{,}6\text{ MJ}$

De kWh is een ouderwetse eenheid die eigenlijk overbodig is. Je kunt het energiegebruik veel gemakkelijker meten in MJ. Toch houden de energiebedrijven vast aan de kWh, omdat al hun systemen daarop zijn ingesteld. Het vervangen van alle kWh-meters door MJ-meters zou veel te duur worden.

Voorbeeldopgave 2
Marjan schat dat haar bureaulamp (13 W) in een maand ongeveer 60 uur brandt.
Bereken:
- hoeveel elektrische energie de lamp in 60 uur gebruikt;
- hoeveel die elektrische energie kost als 1 kWh € 0,22 kost (prijspeil 2014).

gegevens P = 13 W = 0,013 kW
t = 60 h

gevraagd E = ?
prijs = ?

uitwerking $E = P \cdot t$ = 0,013 × 60 = 0,78 kWh
prijs: 0,78 × € 0,22 = € 0,17

Plus Het vermogen van een mens

Je lichaam werkt op de energie opgeslagen in je voedsel. Bij een zware sport zoals wielrennen gebruikt het lichaam veel energie. Wielrenners moeten daarom niet alleen voor de wedstrijd veel eten, maar ook tijdens het fietsen (figuur 11). Een terugval in prestaties door te weinig eten, noem je een hongerklop.

De hoeveelheid energie die je lichaam per seconde gebruikt, wordt het **opgenomen vermogen** genoemd. Als je een uur lang zo snel mogelijk fietst, is je opgenomen vermogen 200 tot 400 W. Je lichaam heeft dan elke seconde 200 tot 400 J aan energie nodig om de inspanning vol te houden. Een profwielrenner kan tijdens een wedstrijd wel 1600 W halen.



Je lichaam gebruikt ongeveer 25% van de opgenomen energie om te bewegen. De rest wordt omgezet in warmte. Daardoor krijg je het snel warm als je aan het sporten bent. Het **nuttige vermogen** is dus maar 25% van het opgenomen vermogen. Bij langdurige inspanning ligt je nuttig vermogen tussen de 50 en 100 W.

◀ **figuur 11**
Wielrenners krijgen ook tijdens de wedstrijd te eten.

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
a Welke twee factoren bepalen het vermogen van een elektrisch apparaat?
b Hoe heet de spanning die een dynamo opwekt?
c Met welke formule kun je het energiegebruik van een elektrisch apparaat berekenen?
d Met welk instrument wordt gemeten hoeveel elektrische energie er in huis wordt gebruikt?

2 Bekijk de afbeelding van de elektriciteitscentrale in figuur 2 op bladzijde 62.
a Waarvoor wordt de warmte gebruikt die de branders produceren?
b Hoe wordt de as van de turbine daarna aan het draaien gebracht?
c In welk apparaat wordt die beweging omgezet in elektriciteit?
d Waar wordt de ontstane spanning ten slotte omgezet in hoogspanning?
e Wanneer moeten er bij een elektriciteitscentrale koeltorens worden gebouwd?

3 In tabel 1 zie je een overzicht van grootheden en eenheden die in deze paragraaf worden gebruikt.
Neem de tabel over en noteer de ontbrekende woorden en letters.

▼ **tabel 1** grootheden en eenheden

grootheid	symbool	eenheid	symbool
			A
	U		
vermogen			
		joule	

4 Als je bij een opwindradio een minuut aan een handel draait, kun je daarna ongeveer 20 minuten naar muziek luisteren.
a Leg uit hoe dit werkt.
b Bereken hoelang je aan de handel moet draaien om de maximale luistertijd van 8 uur te bereiken.

5 De fiets van Jeroen heeft een dynamo in de naaf van het voorwiel. Als het donker wordt, schakelt het licht automatisch aan. Na een tijdje wordt hij moe en gaat hij langzamer fietsen.
Op welke twee manieren verandert dan de spanning die de dynamo levert?

6 Neem tabel 2 over en bereken de ontbrekende waarden.

▼ **tabel 2** vermogen, spanning en stroom

apparaat	spanning	stroomsterkte	vermogen
rekenmachine		0,08 mA	0,12 mW
startmotor	10,2 V		1,2 kW
stofzuiger	230 V	4,2 A	

7 In figuur 12 staat de verandering van het elektrisch vermogen dat een gemiddeld huishouden gebruikt in de loop van een etmaal. De ene grafiek geldt voor de zomer, de andere voor de winter.

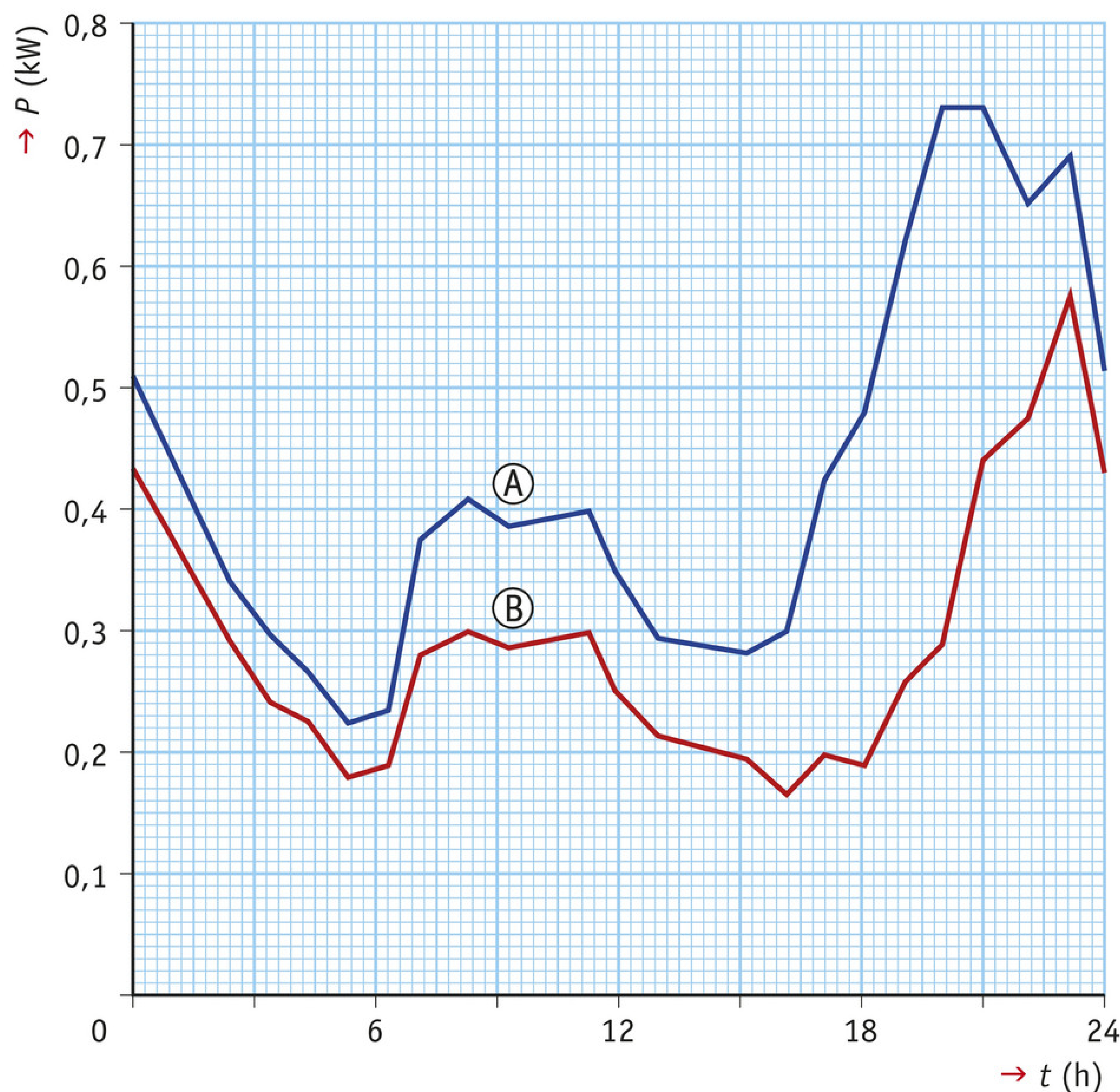
a Welke grafiek zal voor de winter gelden? Licht je antwoord toe.

b Hoe groot is het verschil tussen het maximaal en het minimaal benodigde vermogen in de winter?

c Leg uit waarom dit een probleem is voor de elektriciteitsproductie en bedenk een mogelijke oplossing daarvoor.

d Maak een schatting van het gemiddelde opgenomen vermogen in de winter.

e Bereken daarmee het energiegebruik van een gemiddeld huishouden per etmaal in de winter.



▲ **figuur 12**
het opgenomen vermogen van een gemiddeld huishouden

8 In figuur 13 zie je een doorsnede van de kop van een windmolen.

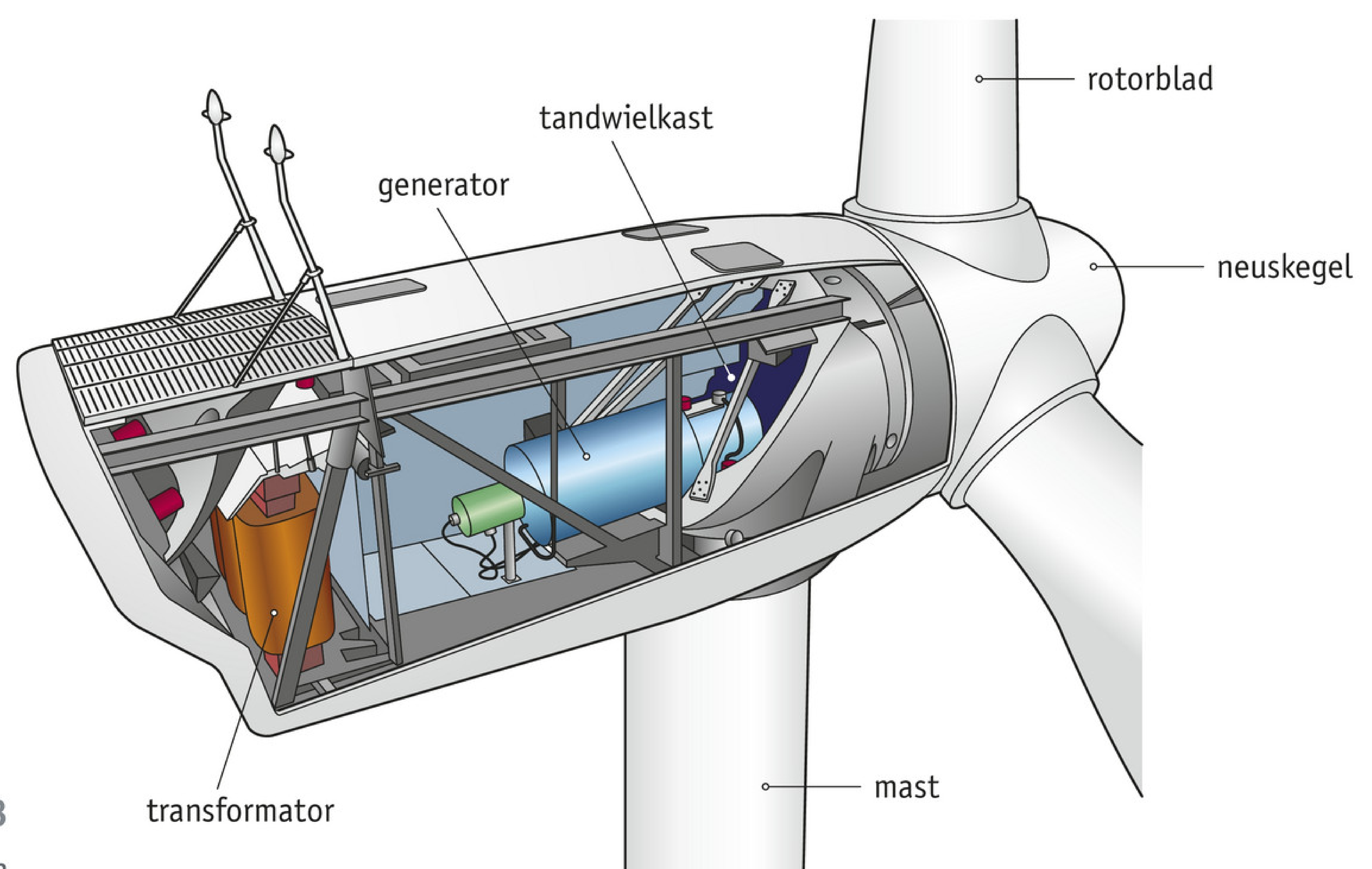
a Leg stap voor stap uit hoe de molen elektrische energie levert.

b Waarom is er een tandwielkast nodig?

c Levert een windmolen wissel- of gelijkspanning?

d Hoe verandert de frequentie als de molen sneller gaat draaien?

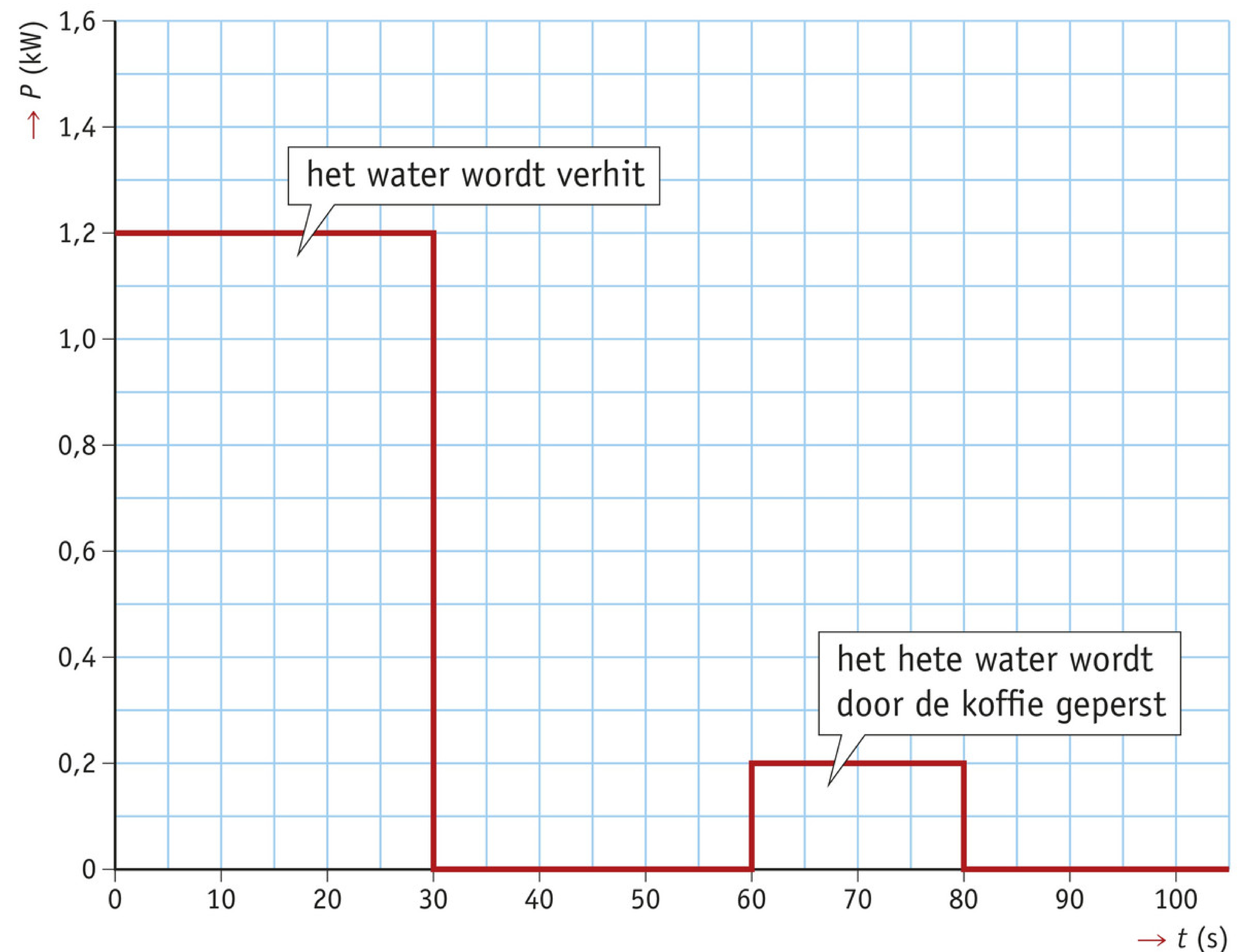
e Waarom is dat een probleem als je de molen koppelt aan het lichtnet?



▶ **figuur 13**
de kop van een windmolen

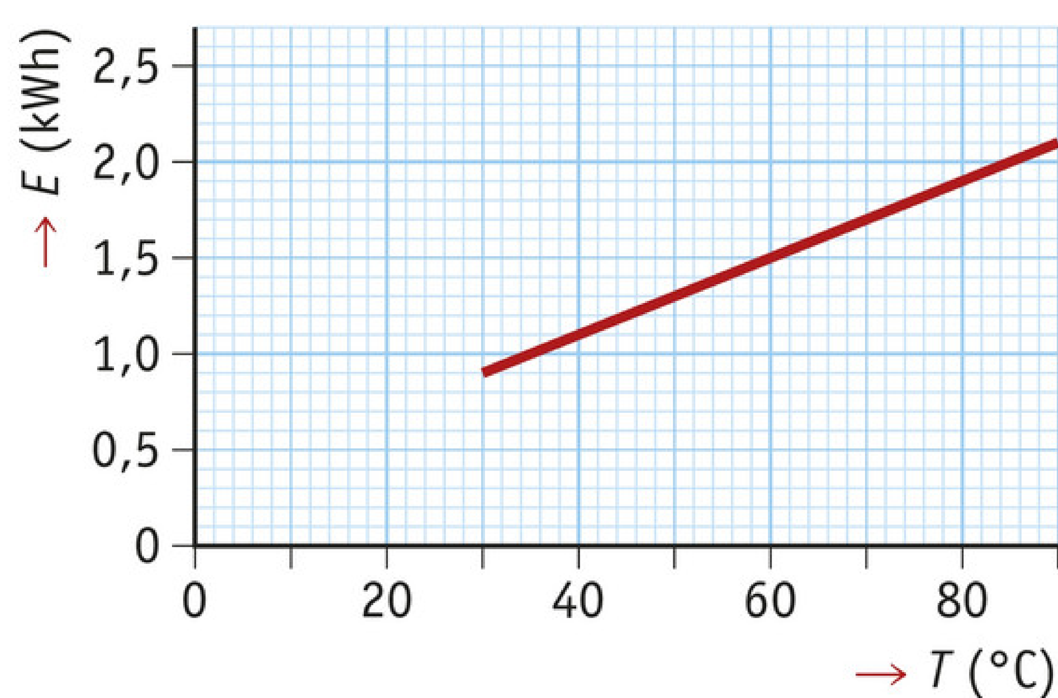
Ga er bij de volgende vragen van uit dat 1 kWh elektrische energie € 0,22 kost.

9 Met een koffiepadmachine kun je snel een kopje koffie zetten. Eerst maakt zo'n machine de juiste hoeveelheid water heet. Daarna perst hij het hete water onder hoge druk door een koffiepad. In figuur 14 kun je zien hoe het vermogen daarbij omhoog en omlaag gaat.
Bereken met de gegevens in de figuur hoeveel elektrische energie er nodig is om één kopje koffie te zetten.



▶ **figuur 14**
het (*P*,*t*)-diagram van een koffiepadmachine

***10** Desirée gebruikt haar wasmachine twee keer per week. Ze stelt de wasmachine daarbij in op 60 °C. Ze wil bezuinigen op haar energiekosten en vraagt zich af hoeveel ze bespaart als ze voortaan op 30 °C zou wassen. In figuur 15 is het energiegebruik per wasbeurt van haar wasmachine uitgezet tegen de temperatuur van het waswater.
Bereken hoeveel geld Desirée per jaar kan besparen. Ga ervan uit dat 1 kWh elektrische energie € 0,22 kost.



T = temperatuur waswater
E = energiegebruik per wasbeurt

▲ **figuur 15**
het energiegebruik per wasbeurt

***11** Als Jacqueline geen tv kijkt, staat haar toestel altijd stand-by. Ze vraagt zich af of haar energierekening daar veel hoger van wordt. Om daar achter te komen, meet ze het vermogen van haar tv in de stand-by stand. Dat blijkt 4,0 W te zijn. Als de tv aanstaat, is het vermogen 260 W.

a Stel je voor dat het tv-toestel een heel jaar lang stand-by staat. Bereken hoeveel elektrische energie het toestel per jaar gebruikt.

b Bereken hoeveel voor die elektrische energie moet worden betaald. Ga ervan uit dat 1 kWh elektrische energie € 0,22 kost.

c Jacqueline kijkt gemiddeld 1,5 uur tv per dag. Bereken hoeveel elektrische energie het toestel per jaar in totaal gebruikt.

d Hoeveel procent van dat totaal komt door het sluipverbruik?

Plus Het vermogen van een mens

12 Lees de tekst in figuur 16 over de energiebehoefte van jongeren.
- **a** Bereken hoe groot het opgenomen vermogen gemiddeld is:
  - van een 14-jarige jongen.
  - van een 14-jarig meisje.
- **b** Vergelijk de waarden die je bij a hebt berekend met de waarden voor het opgenomen vermogen die in de tekst van deze paragraaf staan. Verklaar de verschillen.

De gemiddelde energiebehoefte van een meisje van 14 jaar is 9,6 miljoen joule per dag; een jongen van 14 jaar heeft elke dag gemiddeld 12,6 miljoen joule nodig. Als je veel sport, is je energiebehoefte groter.



▲ **figuur 16** een gedeelte uit een leerboek over gezonde voeding

13 Een bewegingswetenschapper gebruikt een proefopstelling met een hometrainer om het nuttig vermogen van een atleet te bepalen. Bij een van haar metingen fietst de atleet een halfuur in een constant hoog tempo. Ze meet een nuttig vermogen tijdens het fietsen van 350 W.
- **a** Schat hoe groot het opgenomen vermogen van de atleet tijdens het fietsen was.
- **b** Bereken hoeveel voedselenergie de atleet naar schatting heeft gebruikt.
- **c** Gekookte pasta heeft een energiewaarde van circa 480 kJ per 100 g. Hoeveel pasta moet de atleet eten om de energie die zijn lichaam tijdens het fietsen heeft gebruikt, weer helemaal aan te vullen?

2 Elektrische energie vervoeren

Een uitgestrekt leidingnetwerk vervoert elektrische energie van de centrale naar je huis. Daarbij wordt de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd.

Transportverliezen

De kabels die de elektrische energie vervoeren, hebben een kleine weerstand. Als er een grote stroom door loopt, worden die kabels warm. Daardoor gaat er bij elk transport een deel van de elektrische energie verloren. Dat **energieverlies** hangt af van de weerstand van de kabels en van de stroomsterkte. Je kunt het energieverlies berekenen met de formule:

$$P = I^2 \cdot R$$

Als je de stroomsterkte I invult in A en de weerstand R in ohm (Ω), vind je het energieverlies per seconde P in W.

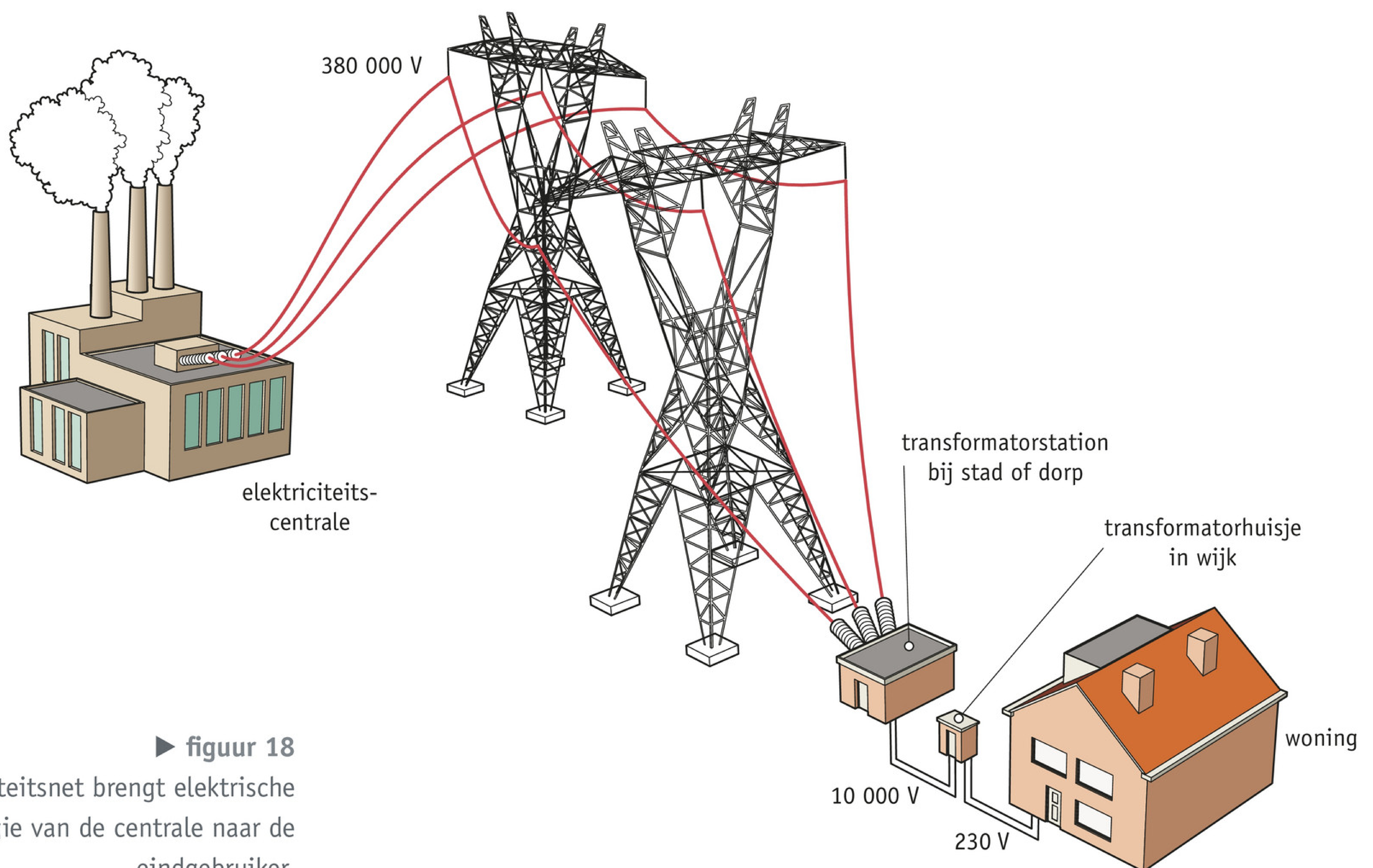
Je kunt het verlies dus beperken door de stroomsterkte zo klein mogelijk te maken. Nu geldt bij het transport van elektrisch vermogen ook $P = U \cdot I$. Voor een lage stroomsterkte is dus een hoge spanning nodig. Daarom gebruik je bij het transport van elektrische energie een zo hoog mogelijke spanning. Toch kan de temperatuur van een hoogspanningskabel oplopen tot wel 90 °C.



▲ **figuur 17**
In veel landen ligt het elektriciteitsnet ook in de stad boven de grond.

Elektriciteitsnet

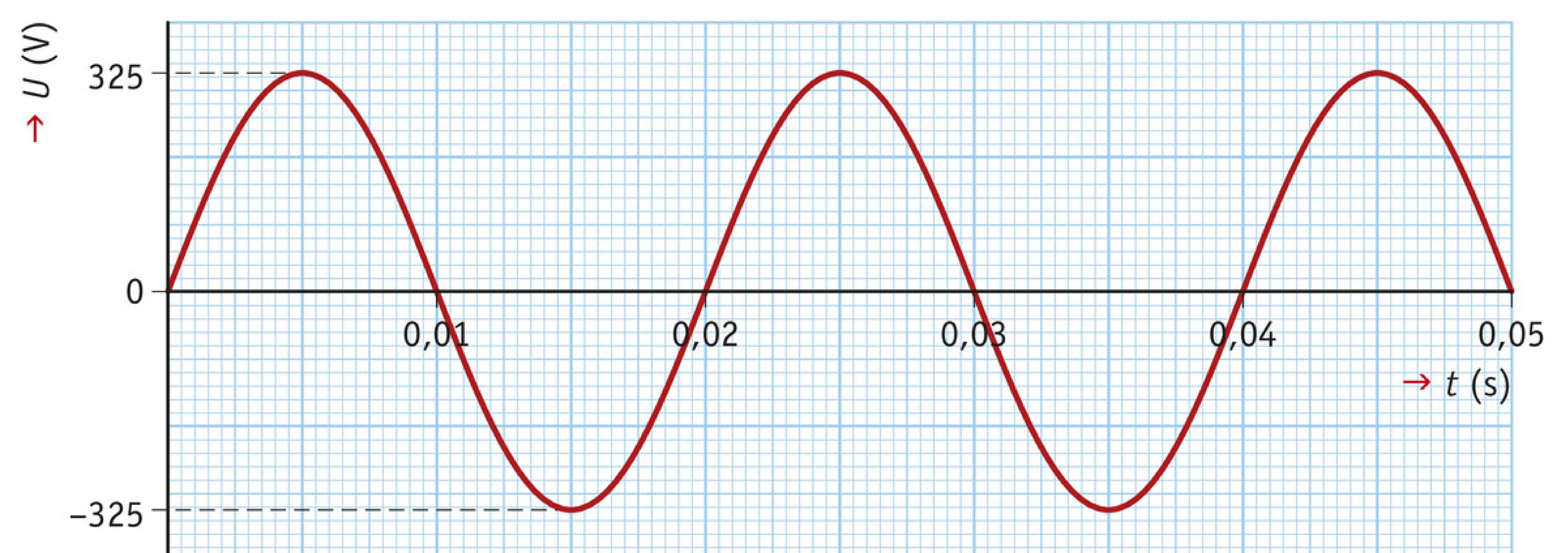
Vanuit de centrales wordt de elektrische energie met een **hoogspanning** van 380 kV over grote afstanden vervoerd door bovengrondse kabels (figuur 17). De generatoren in centrales leveren een spanning van 20 kV en die moet dus eerst omhoog worden gebracht naar 380 kV. In de buurt van een dorp of stad wordt de spanning vervolgens in een transformatorstation omlaag gebracht naar 10 kV. Ondergrondse kabels vervoeren de elektrische energie met een spanning van 10 kV naar woonwijken en industrieterreinen. De bekende transformatorhuisjes (figuur 18) brengen de spanning daar verder omlaag naar de **netspanning** van 230 V voor de eindgebruikers.
Voor sommige elektrische apparaten is de spanning van het lichtnet nog te hoog, zoals voor een tv, een computer of een alarminstallatie. Die apparaten hebben een ingebouwde transformator die de spanning nog verder naar beneden brengt.



▶ **figuur 18**
Het elektriciteitsnet brengt elektrische energie van de centrale naar de eindgebruiker.

De spanning van het lichtnet

In figuur 19 zie je het patroon van de wisselspanning van het lichtnet. Het lichtnet levert dus geen onveranderlijke **gelijkspanning**, zoals een batterij of een accu, maar een wisselspanning. De frequentie daarvan is 50 Hz.
De spanning gaat bij deze wisselspanning van 325 V via 0 V naar −325 V en weer omhoog naar 325 V. Daarmee levert zij evenveel energie als een gelijkspanning van 230 V. Je zegt daarom dat de **effectieve spanning** van het lichtnet 230 V is. In de praktijk wordt het woord ‘effectieve’ vaak weggelaten.



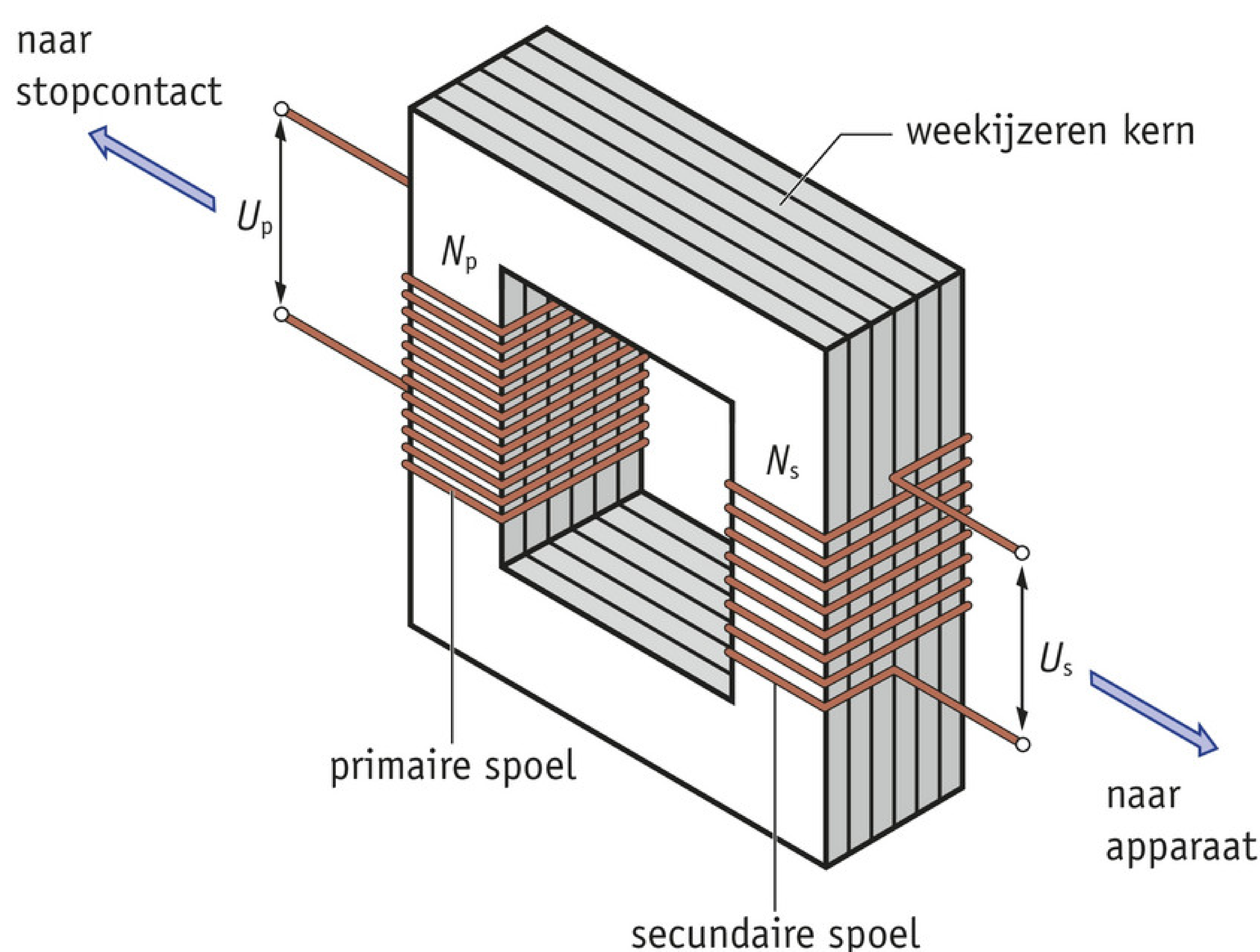
▶ **figuur 19**
een wisselspanning van 50 Hz

De werking van een transformator Proef 3

Met een transformator kun je een lage wisselspanning omzetten in een hogere of andersom. In figuur 20 zie je een eenvoudige transformator voor gebruik in huis. Het apparaat bestaat uit twee spoelen van geïsoleerd koperdraad om een weekijzeren kern. De **primaire spoel** wordt hier verbonden met het lichtnet, de **secundaire spoel** met het apparaat.

- Als de transformator in gebruik is, loopt er een wisselstroom door de primaire spoel. Die wordt daardoor een **elektromagneet**. Doordat de stroom steeds van grootte en richting verandert, doet het opgewekte magneetveld dat ook.
- De weekijzeren kern wordt hierdoor gemagnetiseerd. De magnetisering verandert mee met het magneetveld van de primaire spoel: 100 keer per seconde draait de richting van het magneetveld om, net als de wisselstroom door de primaire spoel.
- Het magneetveld in de secundaire spoel verandert dus ook voortdurend. Door inductie ontstaat er dan een wisselspanning tussen de uiteinden van de secundaire spoel.

Er loopt dus geen stroom van de primaire naar de secundaire spoel. De energie wordt van de primaire naar de secundaire spoel vervoerd door het magneetveld.



◀ **figuur 20** de bouw van een transformator voor gebruik in huis

Omhoog en omlaag transformeren

Hoe de spanning verandert, hangt af van het aantal windingen N_p van de primaire spoel en van het aantal windingen N_s van de secundaire spoel:

- Als $N_s > N_p$, dan is de spanning U_s van de secundaire spoel groter dan de spanning U_p van de primaire spoel: de spanning wordt omhoog getransformeerd.
- Als $N_s < N_p$, dan is de spanning U_s van de secundaire spoel kleiner dan de spanning U_p van de primaire spoel: de spanning wordt omlaag getransformeerd.

Het volgende verband blijkt te gelden:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Voorbeeldopgave 3
De transformator van een deurbel zet een wisselspanning van 230 V om in een wisselspanning van 12 V. De primaire spoel heeft 400 windingen.
Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

gegevens *primaire spoel:* *secundaire spoel:*
$U_p = 230$ V $U_s = 12$ V
$N_p = 400$

gevraagd $N_s = ?$

uitwerking $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{12} = \frac{400}{N_s}$

$230 \cdot N_s = 400 \times 12 = 4800$
$N_s = 4800 : 230 = 20{,}87 = 21$ windingen



▲ **figuur 21**
elektrisch lassen

De ideale transformator

Een transformator zet elektrische energie met een hoge spanning om in elektrische energie met een lage spanning, of omgekeerd. Daarbij gaat er zó weinig energie verloren, dat je daar in de praktijk geen rekening mee hoeft te houden. Bij een **ideale transformator** is er helemaal geen energieverlies. Het opgenomen vermogen in de primaire spoel is dan gelijk aan het afgestane vermogen door de secundaire spoel. In formulevorm:

$P_p = P_s$ of $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$

Voorbeeldopgave 4
Bij elektrisch lassen (figuur 21) verbind je twee metalen delen met elkaar door de stroom zó groot te maken, dat het metaal smelt. Je sluit dan een ideale transformator aan op het lichtnet. Bij het lassen is de stroomsterkte door de primaire spoel 16 A. De secundaire spoel levert een spanning van 48 V.
Bereken de stroomsterkte in de secundaire spoel.

gegevens *primaire spoel:* *secundaire spoel:*
$U_p = 230$ V $U_s = 48$ V
$I_p = 16$ A

gevraagd $I_s = ?$

uitwerking $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$
$230 \times 16 = 48 \cdot I_s$
$3680 = 48 \cdot I_s$
$I_s = 3680 : 48 = 77$ A

Plus Hoogspanningsleidingen

Het aanleggen en onderhouden van hoogspanningsleidingen is duur. Om de kosten te beperken, zijn de afstanden tussen de masten groot en zijn er lange kabels nodig (figuur 22). Het materiaal van hoogspanningsleidingen moet daarom aan veel eisen voldoen:

- De kabels zijn zwaar en lange kabels kunnen door hun eigen gewicht breken. De sterkte van de kabel hangt af van de treksterkte van het materiaal. Dat is de kracht waarbij een kabel met een doorsnede van 1,0 cm^2 breekt.
- Om de constructie licht te houden, mogen de kabels niet te zwaar zijn. De dichtheid van het materiaal van de kabels is daarom belangrijk.
- Om het energieverlies te beperken, moet de weerstand van de kabel laag zijn. Die weerstand hangt af van de soortelijke weerstand van het materiaal. De soortelijke weerstand is de weerstand van een draad van 1,0 m lang met een doorsnede van 1,0 mm^2.
- En ten slotte mag het materiaal niet te duur zijn. In tabel 3 zie je deze eigenschappen voor een aantal metalen.

▼ **tabel 3** eigenschappen van metalen

metaal	dichtheid (10^3 kg/m^3)	soortelijke weerstand ($\Omega \cdot mm^2/m$)	treksterkte (kN/cm^2)	prijs
staal	7,8	0,18	51	laag
aluminium	2,7	0,027	4,5	matig
koper	9,0	0,017	35	hoog
zilver	10,5	0,016	25	erg hoog



▲ **figuur 22**
Kabels voor hoogspanningsleidingen moeten aan veel eisen voldoen.

opgaven

14 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waarom wordt elektrische energie vervoerd bij een zeer hoge spanning?
- **b** Wat wordt bedoeld met ‘wisselspanning met een frequentie van 50 Hz’?
- **c** Wat bepaalt of een transformator de spanning omhoog of juist omlaag brengt?
- **d** Leg uit wat de effectieve waarde van een wisselstroom is.

15 Francisca laadt haar mobieltje op met een adapter. Tussen de elektriciteitscentrale en haar mobieltje is de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd.
Neem tabel 4 over en vul hem in. Kies bij de spanningen uit: *12 V – 230 V – 10 kV – 380 kV.*

▼ **tabel 4** vier keer de spanning transformeren

de transformator	transformeert de spanning		
	omhoog/omlaag	van	naar
in de elektriciteitscentrale		20 kV	
in het transformatorstation buiten de stad of het dorp			
in het transformatorhuisje in de stad of het dorp			
in de adapter van haar mobieltje			

16 Door een hoogspanningskabel loopt een stroom van 560 A bij een spanning van 110 kV.

a Bereken het vermogen dat de kabel vervoert in MW.

b De kabel heeft een weerstand van 0,17 Ω.
Bereken het verlies aan vermogen.

c Bereken het verlies als hetzelfde vermogen zou worden vervoerd bij een spanning van 10 kV.



▲ **figuur 23**
het typeplaatje van Suzy's koffiemachine

17 De Amerikaanse Suzy is verhuisd naar Nederland. Ze wil haar koffiemachine uit de VS aansluiten op het Nederlandse lichtnet (figuur 23). Daarvoor kocht ze 'a voltage converter which converts the European voltage – a whopping 230 V – to the standard USA mains voltage'. De transformator van de 'convertor' heeft een secundaire spoel met 500 windingen.
Bereken het aantal windingen van de primaire spoel.

18 Eva heeft drie spoelen: spoel A met 100 windingen, spoel B met 200 windingen en spoel C met 400 windingen.
Met welke combinatie van spoelen kan Eva een wisselspanning van 6 V:

a omhoog transformeren tot 12 V (twee mogelijkheden)?

b omlaag transformeren tot 3 V (twee mogelijkheden)?

19 Boudewijn heeft een spanningsbron die alleen een spanning van 6,0 V levert. Voor de proef die hij wil doen, heeft hij een hogere spanning nodig. Daarom besluit hij zelf een transformator te maken. Hij heeft daarvoor de keuze uit vier spoelen, met respectievelijk 200, 300, 400 en 600 windingen.

a Met welke combinatie van spoelen kan Boudewijn de spanning het verst omhoog brengen?

b Bereken hoe groot de secundaire spanning dan wordt.

c Op de spanningsbron zit een schakelaar met twee standen: = (gelijkspanning) en ~ (wisselspanning).
Leg uit op welk soort spanning Boudewijn de schakelaar moet zetten.

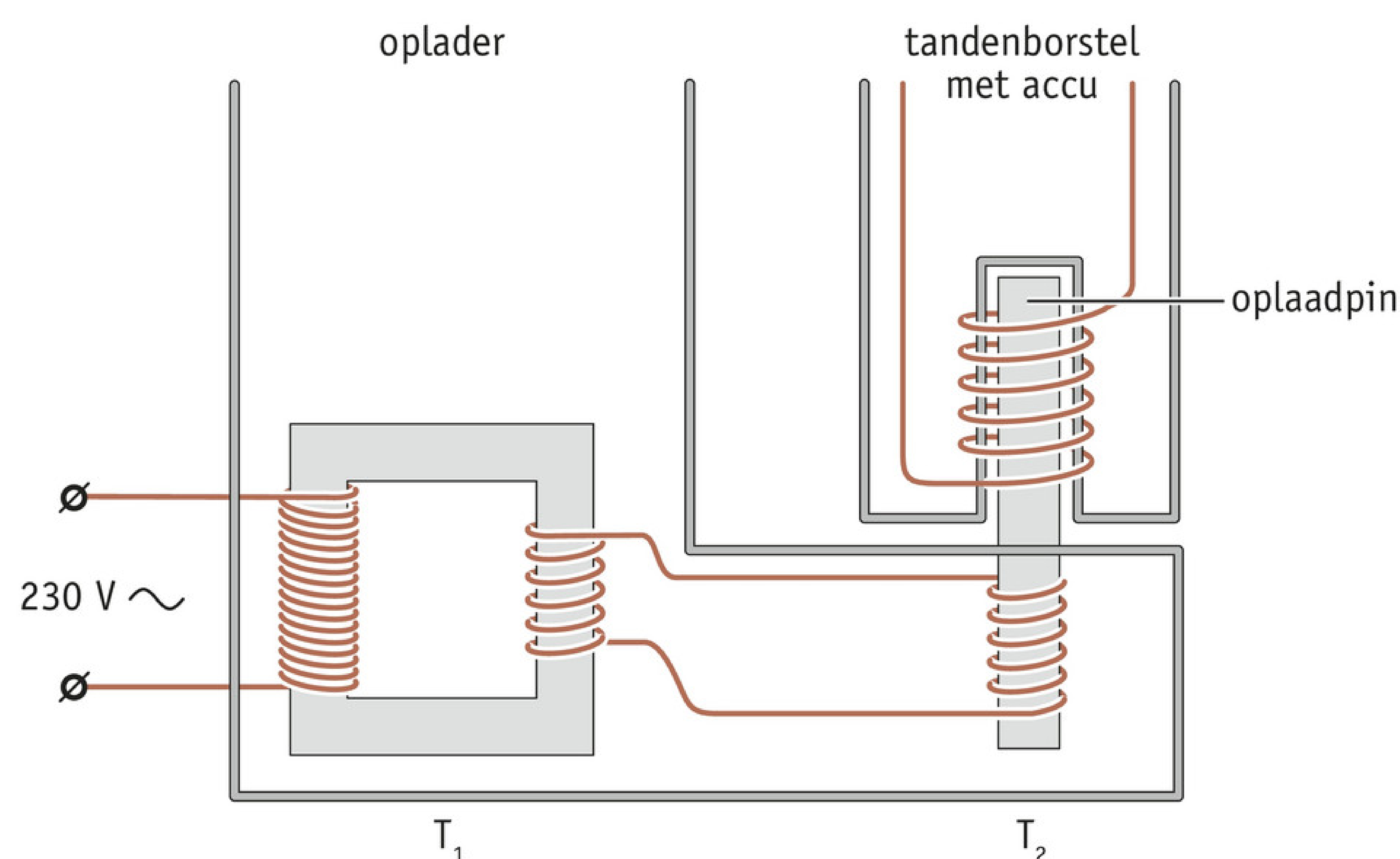
20 Vroeger werkte de oplader van een mobiele telefoon met een transformator. Die opladers waren zwaar en werden warm tijdens het opladen. Moderne opladers gebruiken een elektronische schakeling om de spanning van het lichtnet te transformeren. Je sluit zo'n ouderwetse oplader aan op het lichtnet en op een telefoontje (5,0 V). De oplader neemt dan een vermogen van 9,2 W op van het lichtnet. In de transformator gaat 25% van die opgenomen energie verloren.
Bereken de sterkte van de stroom van de oplader naar de telefoon.
Naar: IJSO



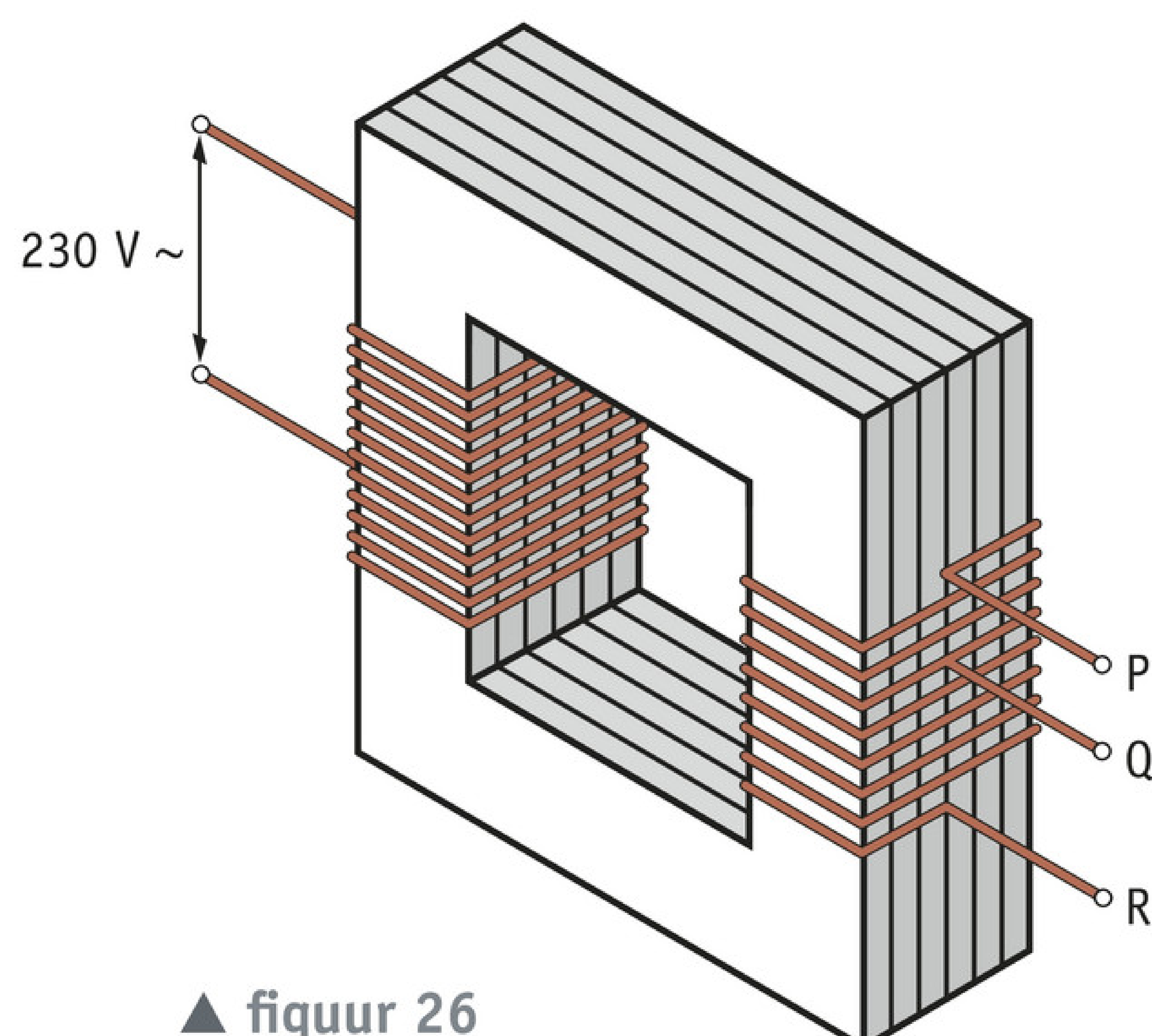
▲ **figuur 24**
een elektrische tandenborstel met oplader

***21** Het opladen van een elektrische tandenborstel heeft iets mysterieus. De tandenborstel wordt opgeladen zonder dat er een draadje loopt van de oplader naar de tandenborstel (figuur 24). Het schakelschema zie je in figuur 25. Het vermogen van de oplader is 1,0 W. De motor van de tandenborstel werkt op 2,4 V. Ga ervan uit dat de transformatoren T_1 en T_2 ideaal zijn.

a Leg stap voor stap uit hoe de elektrische energie van het lichtnet terechtkomt in de accu van de tandenborstel.
b Bereken de stroom door het aansluitsnoer aan het lichtnet.
c Bereken de stroom naar de accu van de tandenborstel als die helemaal leeg is.
d Leg uit waarom deze laadstroom nog niet geschikt is voor het opladen van de accu.



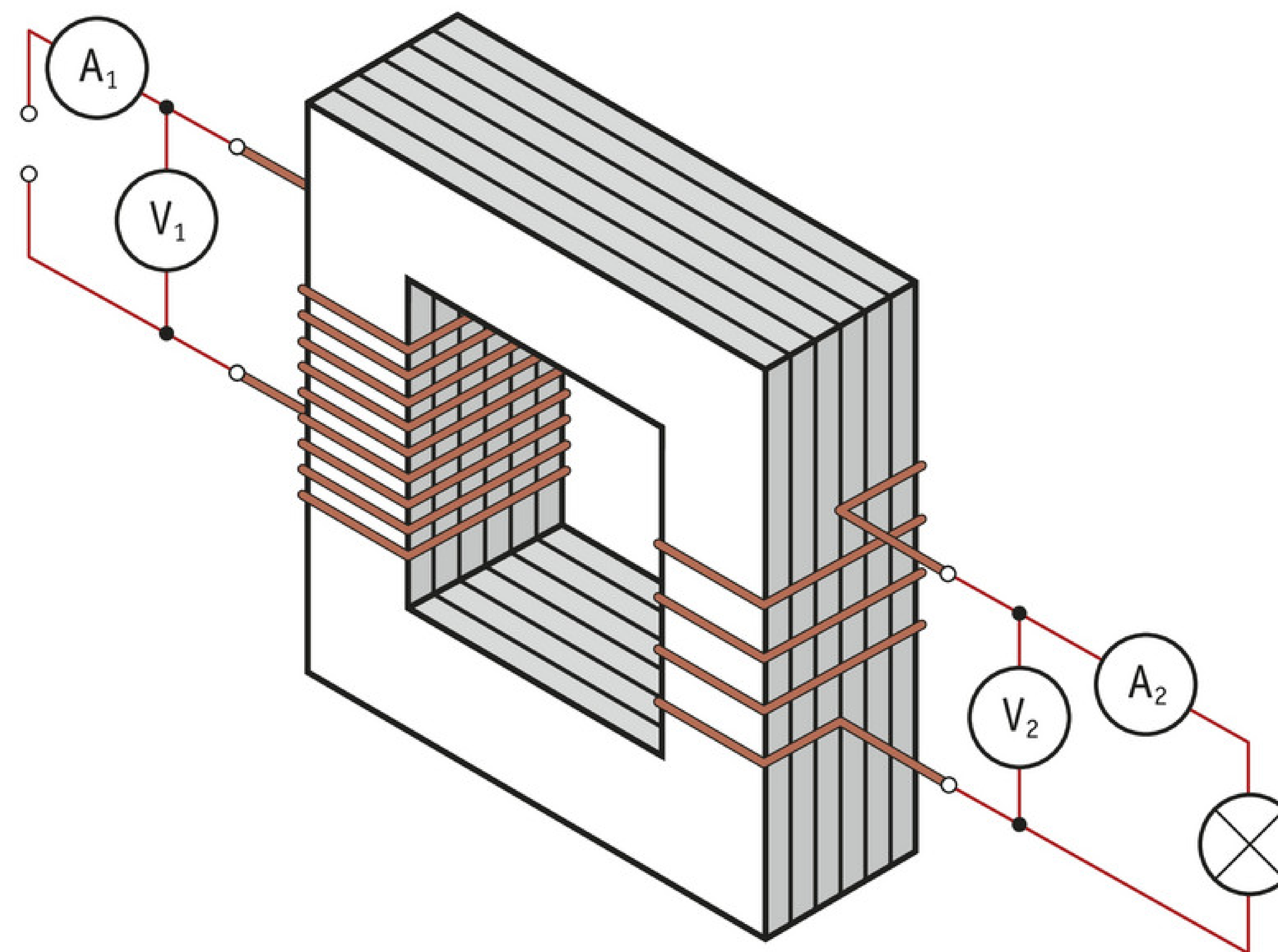
▶ **figuur 25**
het schakelschema van een oplader met elektrische tandenborstel



▲ **figuur 26**
de opbouw van een beltransformator

22 Een elektrische deurbel werkt op de laagspanning van een beltransformator. In figuur 26 is zo'n beltransformator schematisch getekend. De primaire spoel is aangesloten op het lichtnet (230 V). Aan de secundaire kant heb je drie aansluitmogelijkheden: 3 V, 5 V en 8 V.

a Hoe groot zal de spanning zijn tussen de aansluitpunten P en Q? Licht je antwoord toe.
b De primaire spoel heeft 800 windingen.
Bereken het totale aantal windingen van de secundaire spoel.
c Een bel wordt aangesloten op de aansluitpunten Q en R. Als iemand aanbelt, loopt er een stroom van 1,6 A door de secundaire stroomkring. Bereken de stroomsterkte door de primaire spoel. Neem daarbij aan dat de transformator ideaal is.

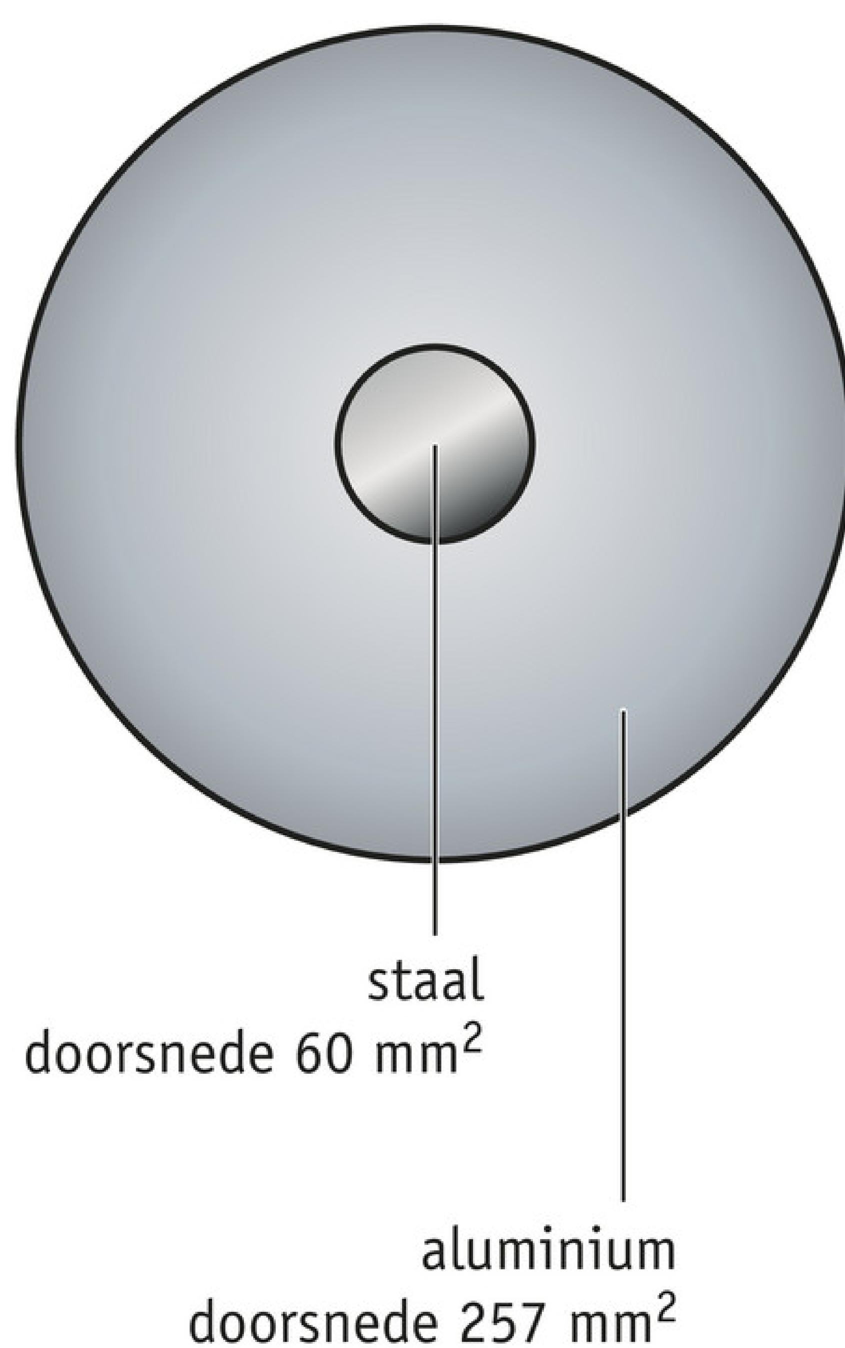


▶ **figuur 27**
een schematische tekening van Leo's proefopstelling

***23** Bij berekeningen wordt vaak aangenomen dat een transformator ideaal is. Leo wil onderzoeken hoeveel een echte transformator afwijkt van dat ideaal. Hij gebruikt daarvoor de opstelling van figuur 27. Bij een van zijn proeven noteert Leo de volgende gegevens:
- stroommeter 1: 0,25 A;
- stroommeter 2: 0,42 A;
- spanningsmeter 1: 12,0 V;
- spanningsmeter 2: 6,0 V.

Bereken hoeveel procent verloren gaat van het elektrische vermogen dat de primaire spoel opneemt.

***24** Bij het lichtnet is de maximale waarde van de wisselspanning 325 V en de effectieve waarde 230 V. Voor de omrekening geldt: $U_{eff} = x \cdot U_{max}$.
- **a** Bereken *x*.
- **b** Een lampje levert 6,0 W als het brandt op een gelijkspanning van 12 V. Je wilt het lampje laten branden op een wisselspanning. Hoe groot moet dan U_{eff} zijn?
- **c** Bereken U_{max} van de wisselspanning.



▲ **figuur 28**
de doorsnede van een hoogspanningskabel

Plus Hoogspanningsleidingen

25 Bij de keuze van het materiaal voor een hoogspanningsleiding moet je verschillende eisen tegen elkaar afwegen.
- **a** Geef bij elk van de materialen uit tabel 3 op bladzijde 76 minstens één voordeel en minstens één nadeel.
- **b** Geef twee redenen waarom staal geen geschikt materiaal is.
- **c** Welk materiaal is volgens jou het meest geschikt? Licht je antwoord toe.

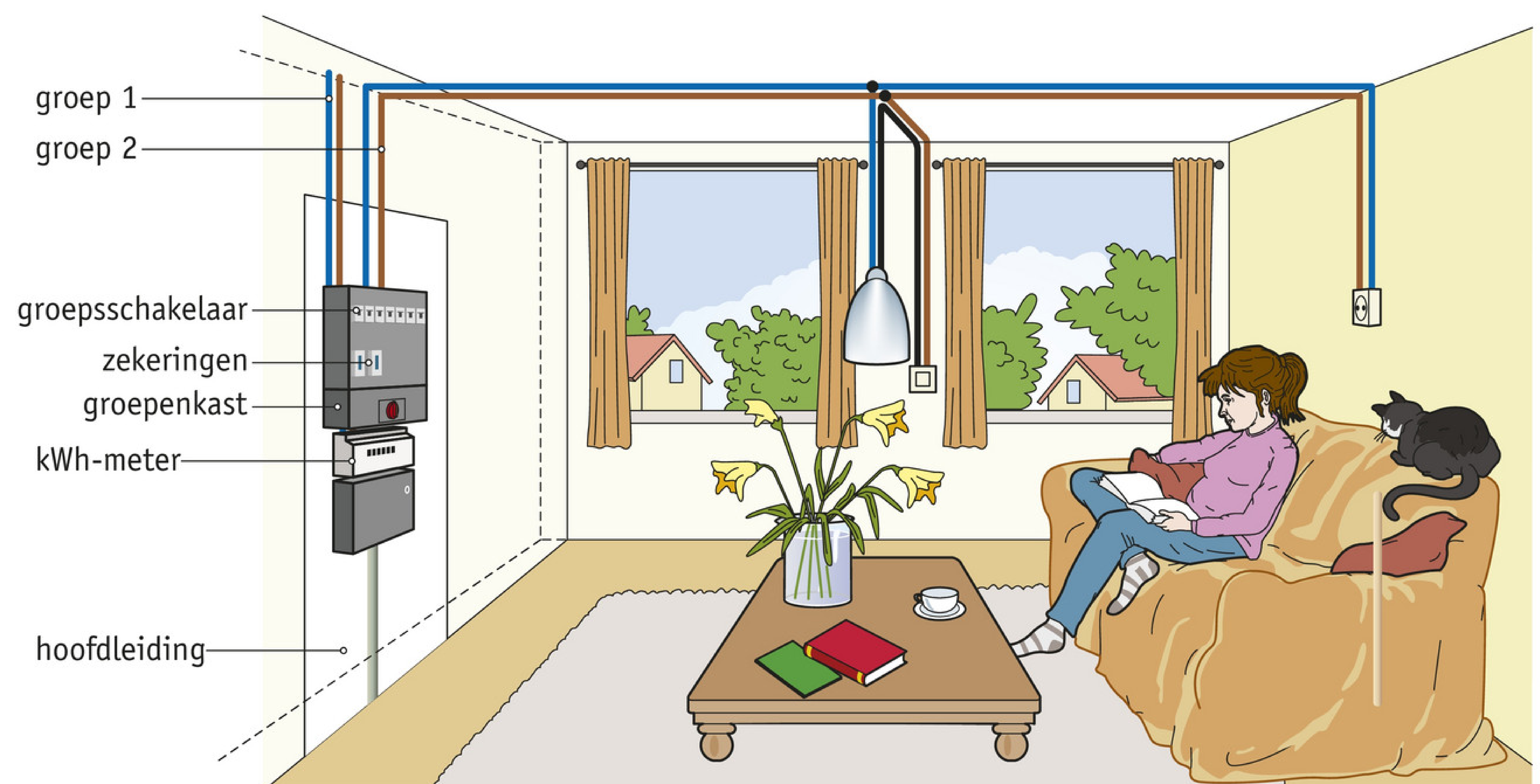
26 Vervolg van opgave 25.
Toch bestaan hoogspanningsleidingen deels uit staal: er is een stalen kern met een aluminium mantel daaromheen (figuur 28).
- **a** Wat is de belangrijkste reden om te kiezen voor een stalen kern?
- **b** Geef twee redenen waarom bij de buitenmantel gekozen is voor aluminium en niet voor koper.
- **c** Bij een 380kV-leiding is de lengte van de kabel tussen twee masten 200 m. De stalen kern heeft een oppervlakte van 60 mm^2. De oppervlakte van de doorsnede van de aluminium mantel is 257 mm^2. Bereken de massa van de kabel.

3 Elektriciteit in huis

Elektrische energie speelt in de samenleving een steeds grotere rol. Denk maar aan de opkomst van elektrische auto's. Maar elektriciteit brengt ook gevaren met zich mee. Er kan brand ontstaan. Ook kun je in aanraking komen met een onderdeel waar spanning op staat waardoor er een stroom door je lichaam gaat lopen. Veiligheidsmaatregelen in huis maken die risico's een stuk kleiner.

De huisinstallatie

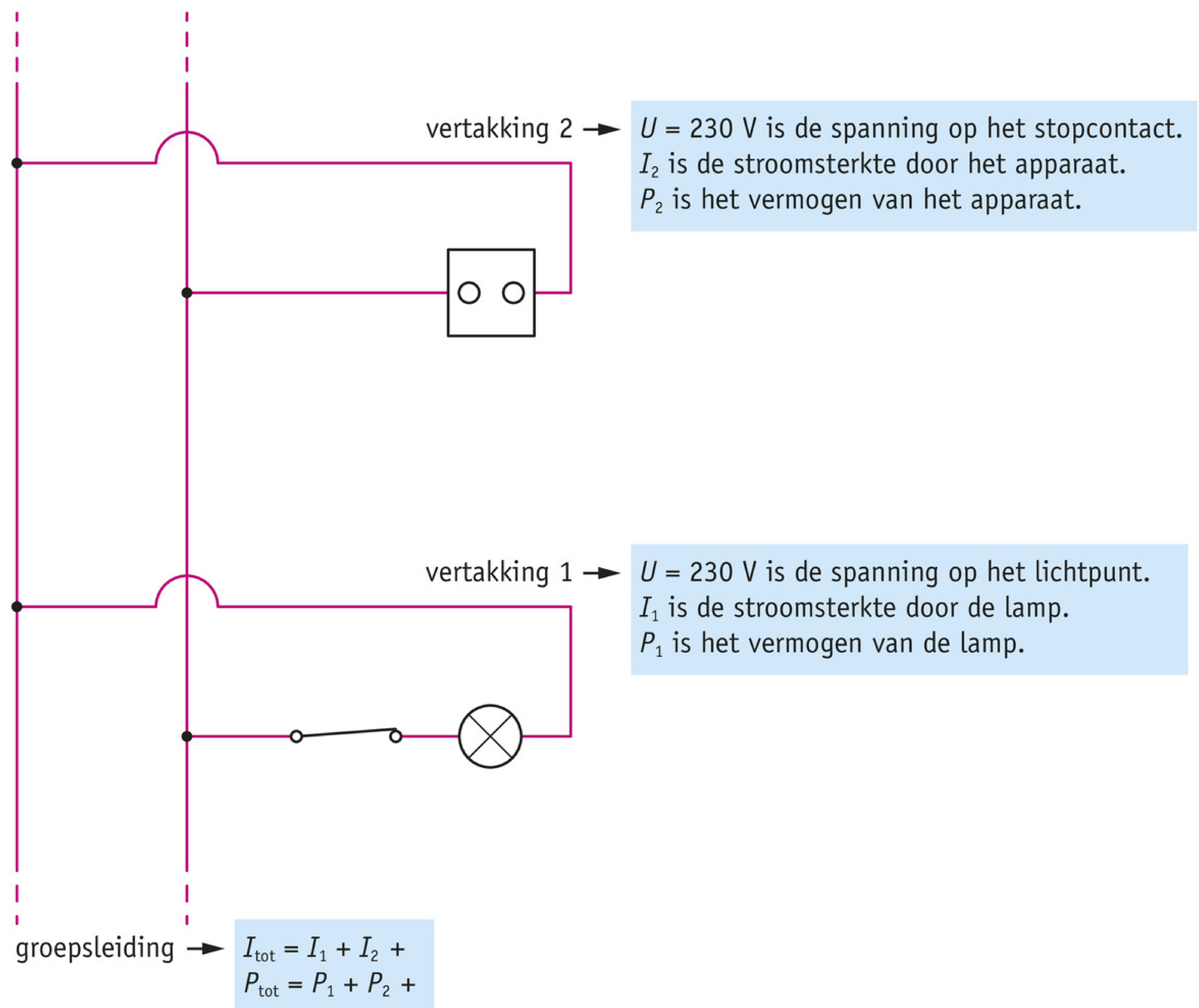
In een woonhuis loopt een netwerk van elektriciteitsdraden: de **huisinstallatie**. De hoofdleiding komt bij de voordeur het huis binnen. Na de kWh-meter splitst de leiding zich in vier tot zes parallelle groepen. Elke groep heeft een groepsschakelaar waarmee je de hele groep kunt uitschakelen (figuur 29). Daardoor hoef je bij een defect in één onderdeel niet de elektriciteit in het hele huis uit te schakelen.



▲ **figuur 29**
een deel van de huisinstallatie

Een groep bestaat uit een aantal parallel geschakelde aansluitpunten in huis. Omdat alles parallel geschakeld is, staat er op elk aansluitpunt een spanning van 230 V. Het vermogen P van het apparaat dat je aansluit, bepaalt dan de grootte van de stroom naar dat aansluitpunt. De totale stroomsterkte I_{tot} in de groepsleiding vind je door de stroomsterktes bij al die aansluitpunten binnen de groep bij elkaar op te tellen (figuur 30). In formulevorm:

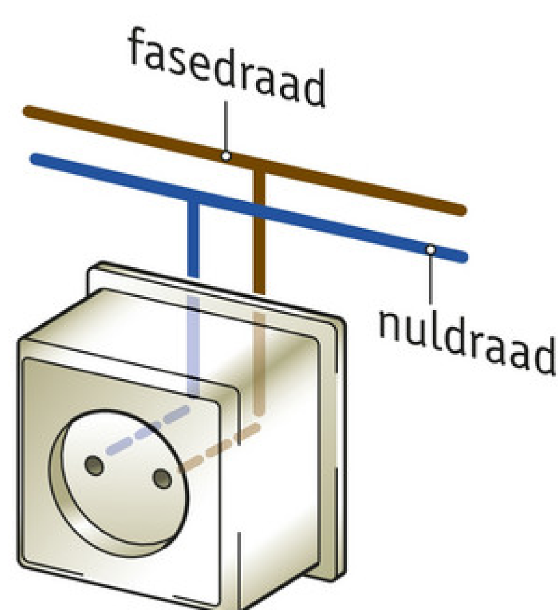
$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$



▶ **figuur 30**
Alle lichtpunten en stopcontacten in een groep zijn parallel geschakeld.

Het totale vermogen dat op de groep is aangesloten, vind je door de vermogens bij elkaar op te tellen. In formulevorm:

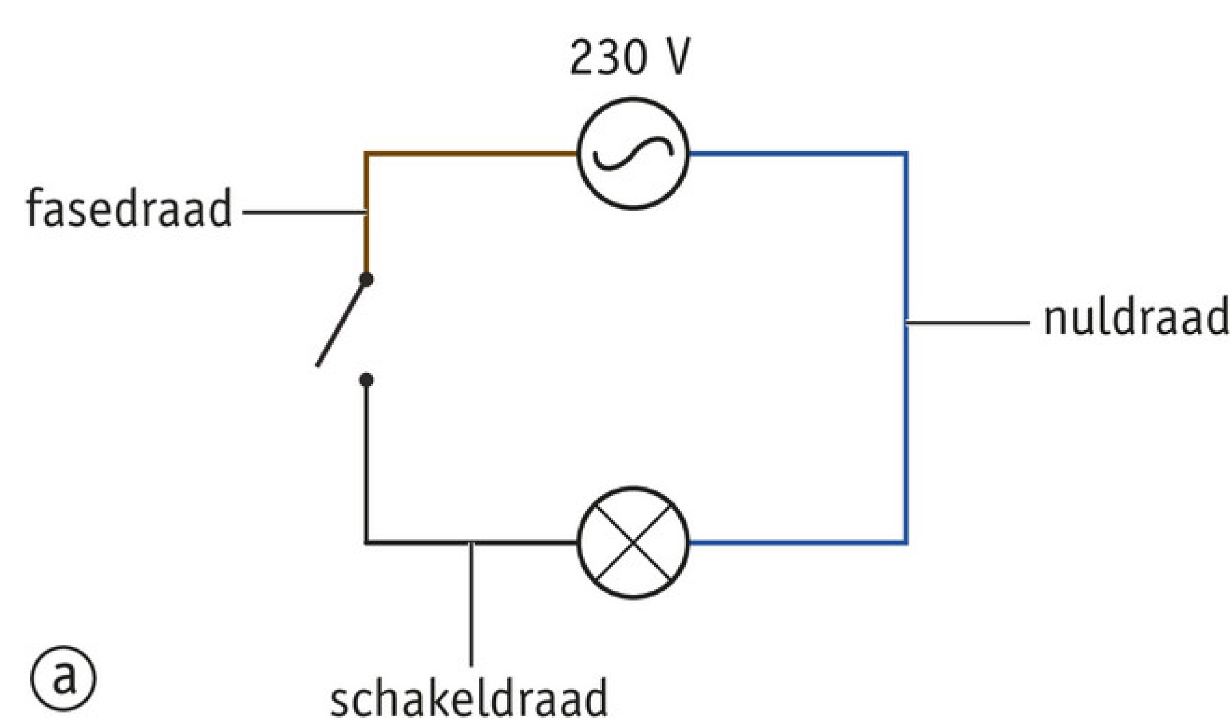
$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$$

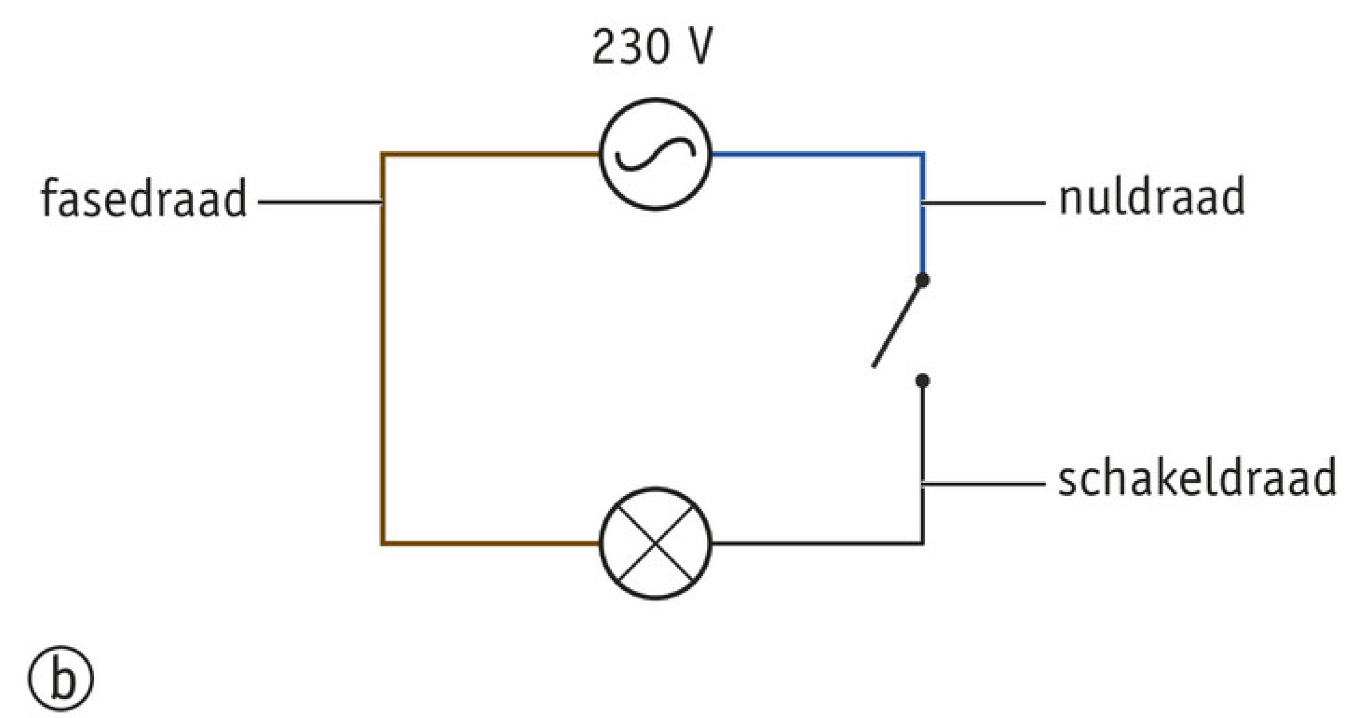


▲ **figuur 31**
een stopcontact ofwel wandcontactdoos

Naar elk stopcontact lopen minimaal twee draden (figuur 31). Elke draad heeft een kern van koper met daaromheen een isolatielaag van gekleurde kunststof.

Op de bruine **fasedraad** staat een wisselspanning van 230 V. De stroom loopt terug door de blauwe **nuldraad**. Als de schakeling in orde is, is de spanning van de nuldraad 0 V en krijg je geen schok als je de nuldraad aanraakt. Toch is het beter om de groep uit te schakelen voordat je een draad aanraakt.
Bij een lamp en een schakelaar zie je ook een zwarte draad: de **schakeldraad**. Bij een juiste schakeling staat er op die draad alleen spanning als de schakelaar in de AAN-stand staat (figuur 32a).





▶ **figuur 32**
Zo moet je een lamp aansluiten (a) en zo niet (b).

Risico op brand

Een stroomdraad wordt warm als er stroom door loopt. Bij een stroomsterkte groter dan 16 A wordt het koperdraad zó heet, dat er brand kan ontstaan. Een te grote stroomsterkte kan ontstaan door overbelasting of door kortsluiting.

Bij **overbelasting** is de stroomsterkte te groot doordat er te veel apparaten tegelijk aanstaan. In een groep mag het totale vermogen van de aangesloten apparaten niet hoger zijn dan 3680 W. Ga maar na:

$P_{max} = U \cdot I_{max} = 230 \times 16 = 3680 \text{ W} = 3{,}7 \text{ kW}$

Je kunt de stroom I_{tot} in een groep berekenen met de formule:

$$P_{tot} = U \cdot I_{tot}$$

Voorbeeldopgave 5
Op één groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:
- een magnetron van 800 W;
- een waterkoker van 2000 W;
- een afzuigkap van 150 W;
- zes led lampen van elk 3 W.

Bereken de stroomsterkte in de groepsleiding.

gevens
$P_1 = 800$ W
$P_2 = 2000$ W
$P_3 = 150$ W
$P_4 = 6 \times 3 = 18$ W
$U = 230$ V

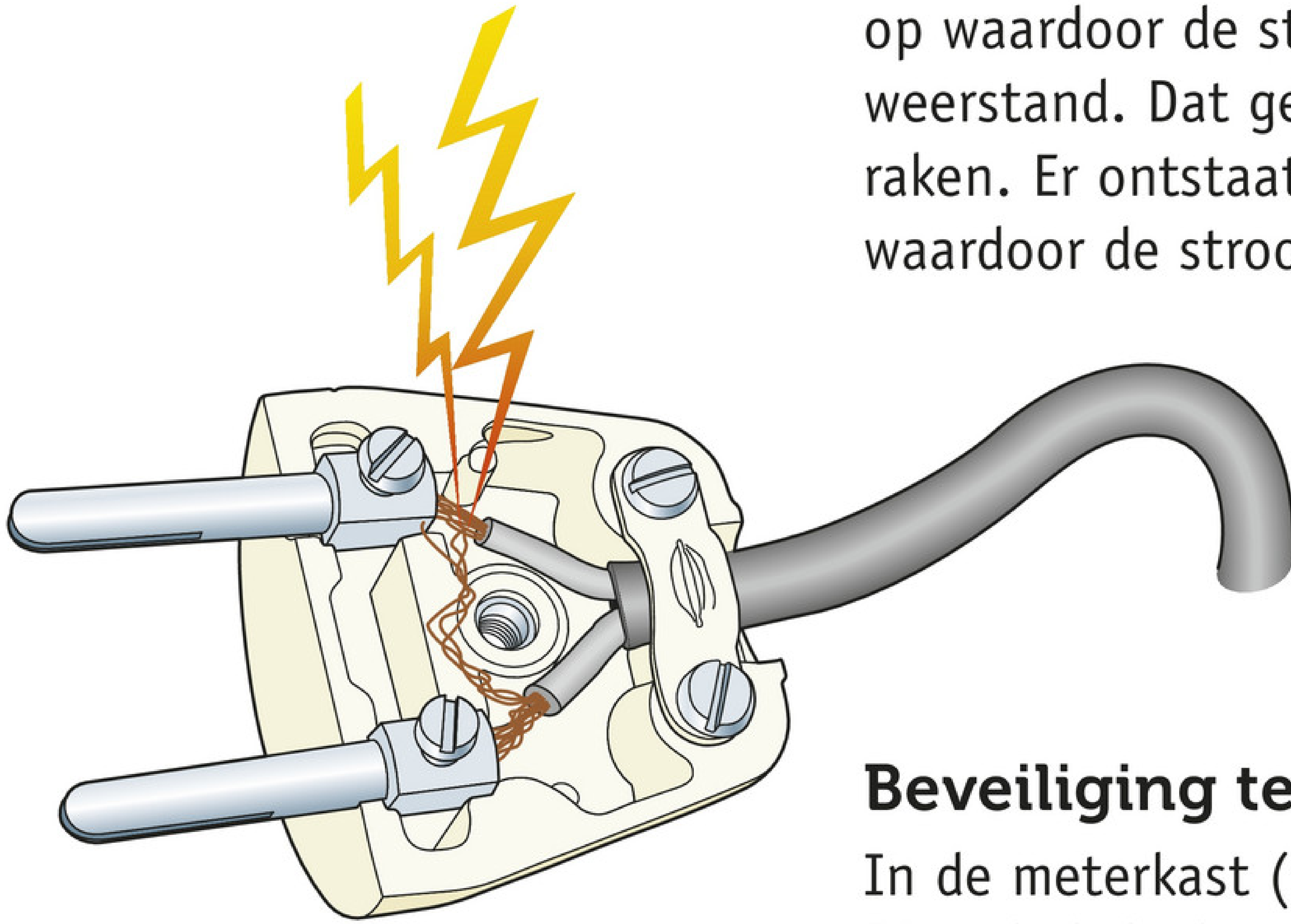
gevraagd
$I_{tot} = ?$

uitwerking
$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 800 + 2000 + 150 + 18$
$= 2968$ W

$$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{2968}{230} = 12{,}9 \text{ A}$$

Over het werken met formules lees je meer in vaardigheid 5 achter in je boek.

De stroom door de draden kan ook te groot worden door **kortsluiting**. In een goede installatie loopt de stroom via de fasedraad naar het apparaat en dan terug door de nuldraad. De weerstand van de draden is veel kleiner dan die van het apparaat. Bij een kortsluiting treedt er een defect op waardoor de stroom een andere weg kan nemen met een veel lagere weerstand. Dat gebeurt bijvoorbeeld als de fase- en de nuldraad elkaar raken. Er ontstaat dan een stroomkring met een zeer kleine weerstand waardoor de stroomsterkte enorm groot wordt (figuur 33).

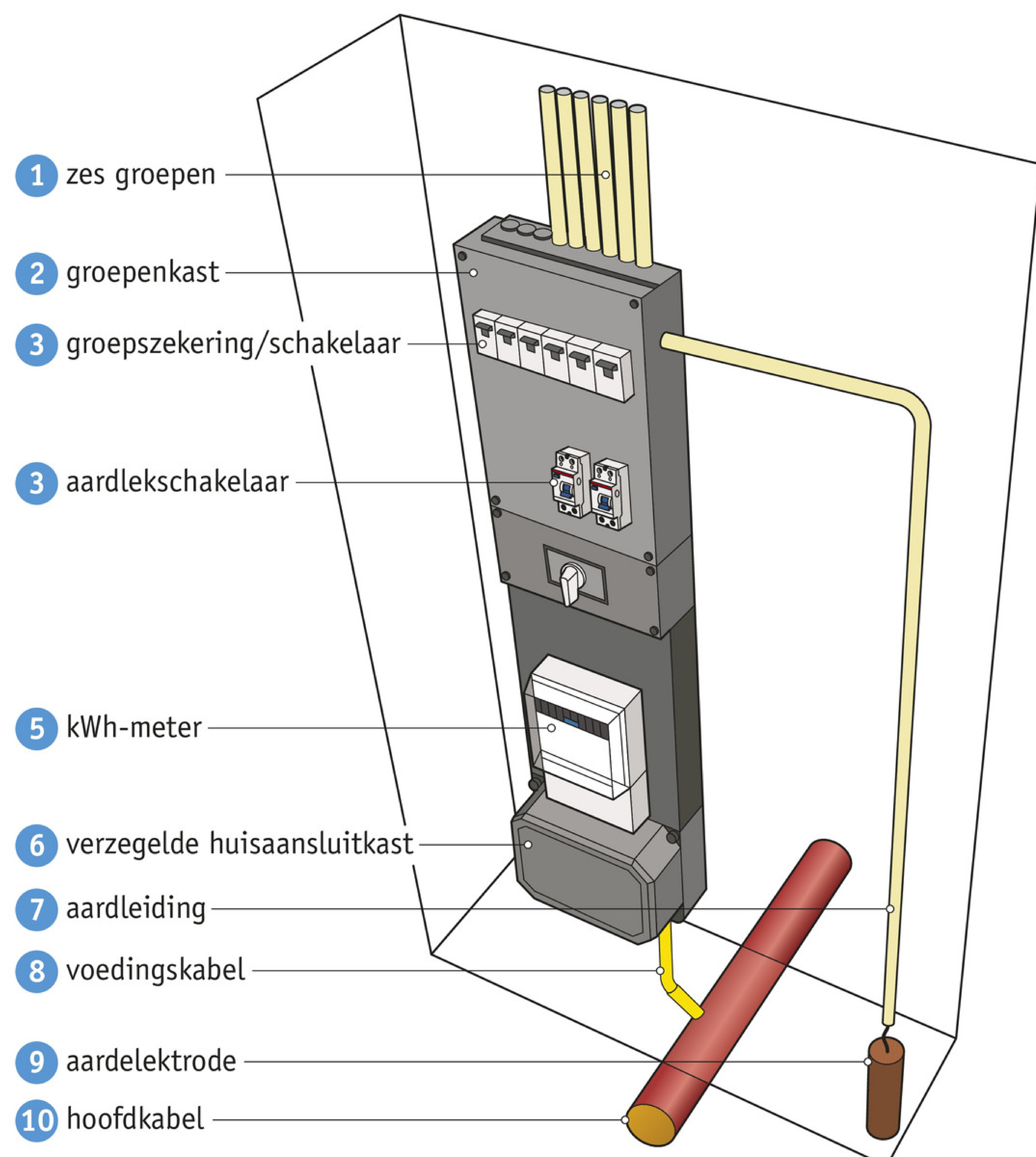


▲ figuur 33
Deze stekker veroorzaakt kortsluiting.

Beveiliging tegen brand Proef 4

In de meterkast (figuur 34) heeft elke groep een eigen **groepszekering**. Die schakelt de stroom uit als de stroomsterkte groter wordt dan 16 A. Bij een ouderwetse zekering brandt er dan een draadje door. Nadat je de oorzaak hebt verholpen, moet je zo'n zekering vervangen. Bij elektronische zekeringen (figuur 35) kun je de stroom weer inschakelen door een knop naar boven te zetten. Zo'n zekering noem je ook een **installatieautomaat**.

▶ figuur 34
Dit vind je in de meterkast.





▲ figuur 35
elektronische zekeringen



▲ **figuur 36**
Als je schrikdraad aanraakt, trekken je spieren gedurende korte tijd sterk samen.

Risico op een elektrische schok

Als je een geleidend voorwerp aanraakt waar een spanning op staat, krijg je een schok. Dat merk je als je het schrikdraad rond een weiland aanraakt. Er loopt dan een korte stroomstoot door je lichaam en dat is geen prettig gevoel (figuur 36).

Hoe gevaarlijk een elektrische schok is, hangt af van de stroomsterkte door je lichaam (tabel 5). De stroomsterkte hangt af van de spanning en van de weerstand van je lichaam. Je lichaam zelf geleidt de stroom vrij goed; je **lichaamsweerstand** is dus klein.
De **contactweerstand** is de weerstand op plaatsen waar de stroom het lichaam in- en uitgaat. Als je huid droog is, is de contactweerstand behoorlijk groot. Maar als je huid nat wordt, neemt de contactweerstand sterk af. Schoenen met rubberen zolen hebben een grote contactweerstand en verkleinen daardoor de stroom.

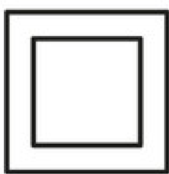
▼ **tabel 5** het effect van stroom op je lichaam

stroomsterkte	verschijnsel
1 mA	net te voelen
10 mA	prikkelende ervaring
15 mA	spiersamentrekking
15-100 mA	pijn, bewusteloosheid, moeite met ademhalen
100-500 mA	hartproblemen
meer dan 1 A	levensgevaar, brandwonden

Beveiliging tegen elektrische schokken

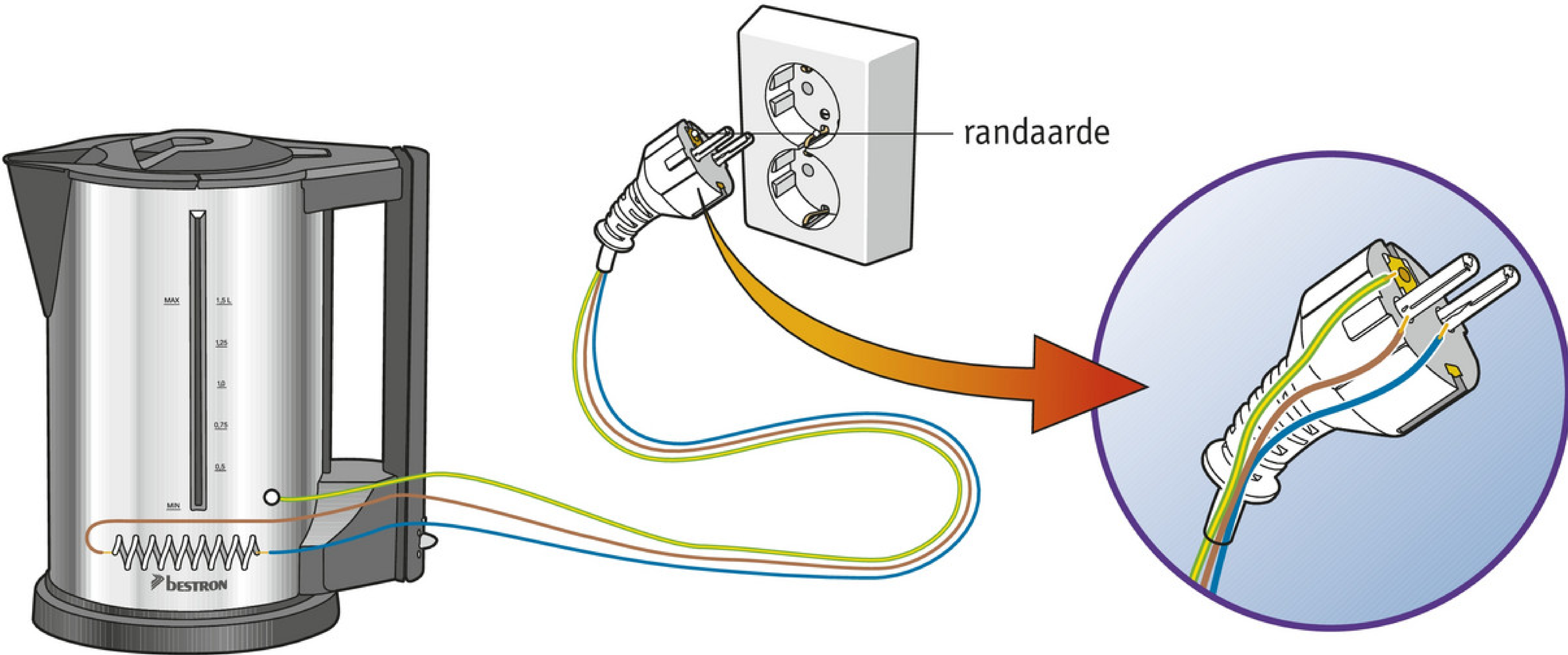
De huisinstallatie beschermt je tegen elektrische schokken met dubbele isolatie, randaarde en een aardlekschakelaar.

De draden in de huisinstallatie hebben een bruine, een blauwe of een zwarte isolatielaag. Ze liggen daarnaast ook in isolerende pvc-pijpen of ze zijn opgenomen in een dikke kabel met een grijze isolatie. Ze hebben zo een **dubbele isolatie**.
Ook apparaten kunnen dubbel geïsoleerd zijn (figuur 37). Ze hebben dan, naast de gewone isolatie van de draden, ook een isolerende buitenkant.



▲ **figuur 37**
het symbool voor dubbele isolatie

Apparaten met een metalen buitenkant zijn vaak voorzien van **randaarde**. Er loopt dan een groengele **aarddraad** van de buitenkant van het apparaat via het snoer naar de rand van het stopcontact (figuur 38). Vanaf het stopcontact loopt de aarddraad verder naar de **aardleiding** in de meterkast. Die is op zijn beurt weer verbonden met een metalen pin die diep in de bodem doorloopt (figuur 34). Als de metalen buitenkant van het apparaat onder spanning komt te staan, loopt er via de aarddraad een flinke lekstroom naar de aarde. De aardlekschakelaar schakelt dan meteen



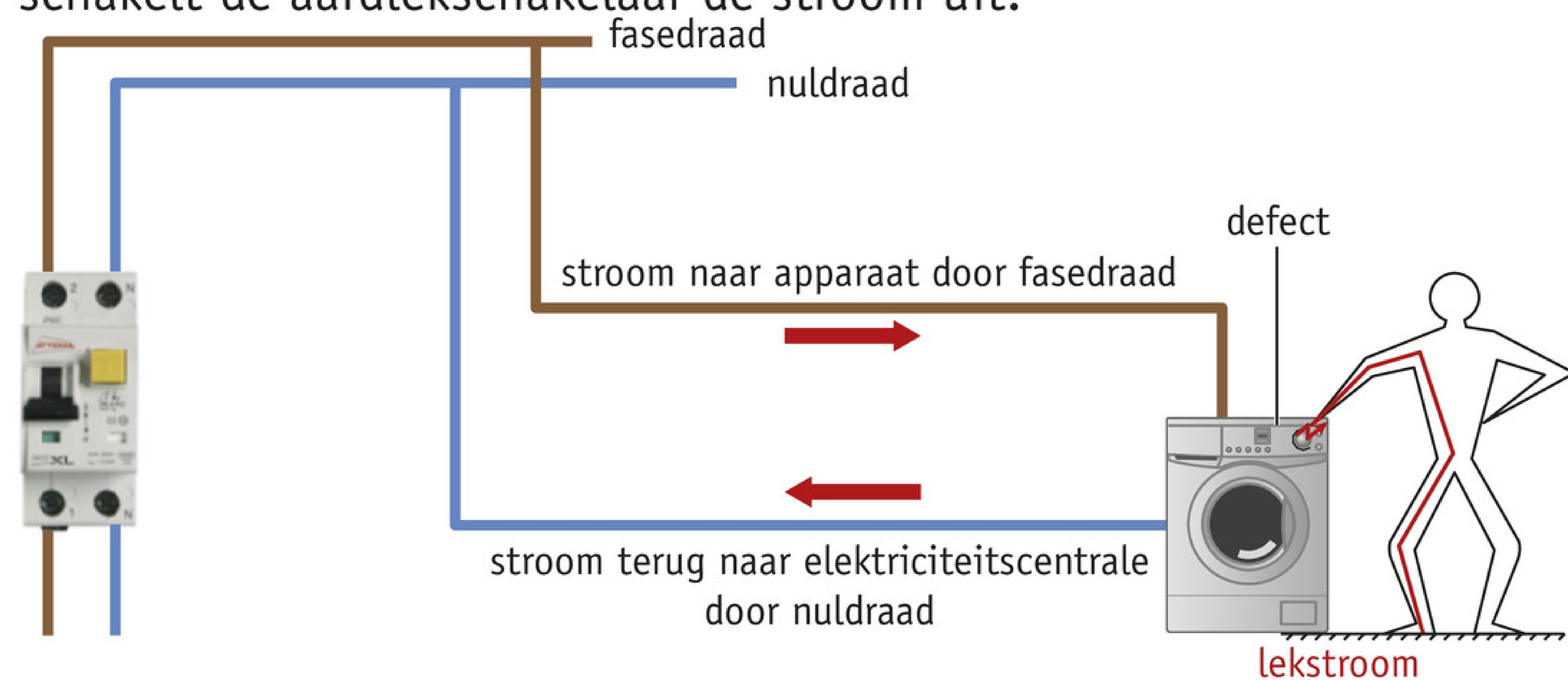
▶ **figuur 38**
Zo wordt een waterkoker geaard.



▲ **figuur 39**
Met de testknop kun je controleren of de aardlekschakelaar goed werkt.

de stroom uit. De zekering reageert alleen als de lekstroom groter is dan 16 A en dat is lang niet altijd het geval. Deze beveiliging werkt natuurlijk niet als je het apparaat hebt aangesloten op een stopcontact zonder randaarde.

Een **aardlekschakelaar** (figuur 39) vergelijkt de stroomsterkte in de fasedraad (bruine kleur) met de stroomsterkte in de nuldraad (blauwe kleur). Zolang de twee stroomsterktes even groot zijn, laat de aardlekschakelaar de stroom gewoon door.
In figuur 40 lekt een deel van de stroom weg door de persoon die een onderdeel onder spanning aanraakt. De stroomsterkte in de nuldraad is nu kleiner dan die in de fasedraad. Als dat verschil groter wordt dan 30 mA, schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit.



▶ **figuur 40**
Bij een lekstroom schakelt de aardlekschakelaar de spanning uit.

Plus Zonnepanelen

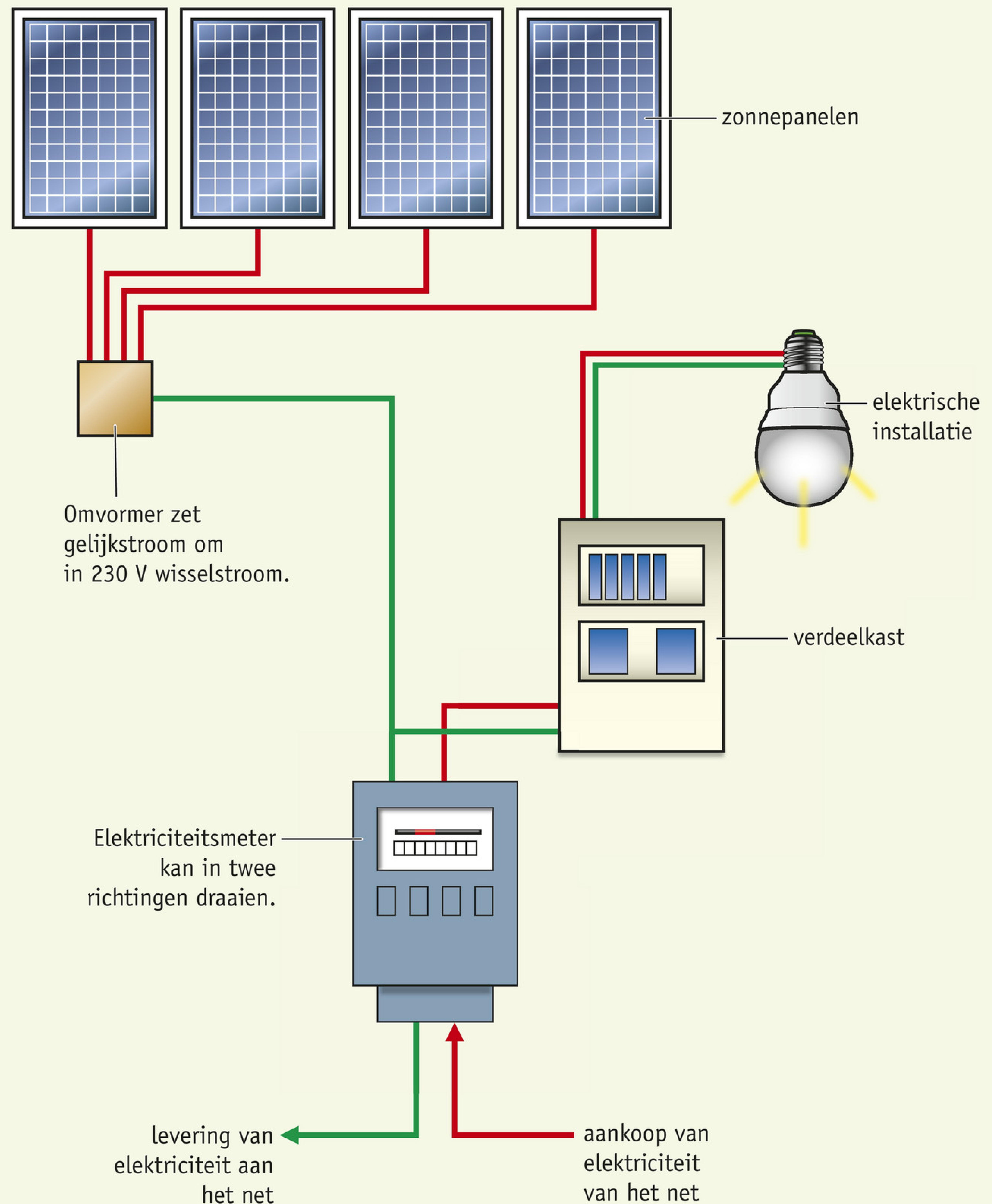
Steeds vaker zie je op de daken van huizen en bedrijven zonnepanelen staan. De bijdrage van zonnepanelen aan de totale elektriciteitsproductie was in 2013 nog kleiner dan 1%, maar dat percentage zal de komende jaren zeer snel stijgen.

Een zonnepaneel bestaat uit een aantal in serie geschakelde zonnecellen die de stralingsenergie van de zon omzetten in elektrische energie.
Een gemiddeld huishouden gebruikt 3500 kWh per jaar en daarvoor heb je ongeveer twintig zonnepanelen van elk 2 m^2 nodig. Het is het goedkoopst om de panelen in serie te schakelen. Maar dat heeft het nadeel dat een defect in één paneel de opbrengst sterk vermindert. Daarom worden de panelen meestal parallel geschakeld.

Internationaal is afgesproken dat het vermogen van een zonnecel wordt aangegeven in **wattpiek**, afgekort Wp. Het aantal Wp is het elektrisch vermogen van een zonnepaneel als het licht loodrecht invalt met een vermogen van 1000 W/m^2 en bij een temperatuur van het zonnepaneel van 25 °C.

In figuur 41 zie je dat de zonnepanelen worden aangesloten op een omvormer die de gelijkspanning van de zonnepanelen omzet in een wisselspanning van 230 V. De stroom loopt daarna via een eigen groep naar de kWh-meter. Van daaruit wordt de elektrische energie via de groepen over het huis verdeeld. Een overschot aan stroom wordt terug-geleverd aan het lichtnet. De kWh-meter loopt dan terug.

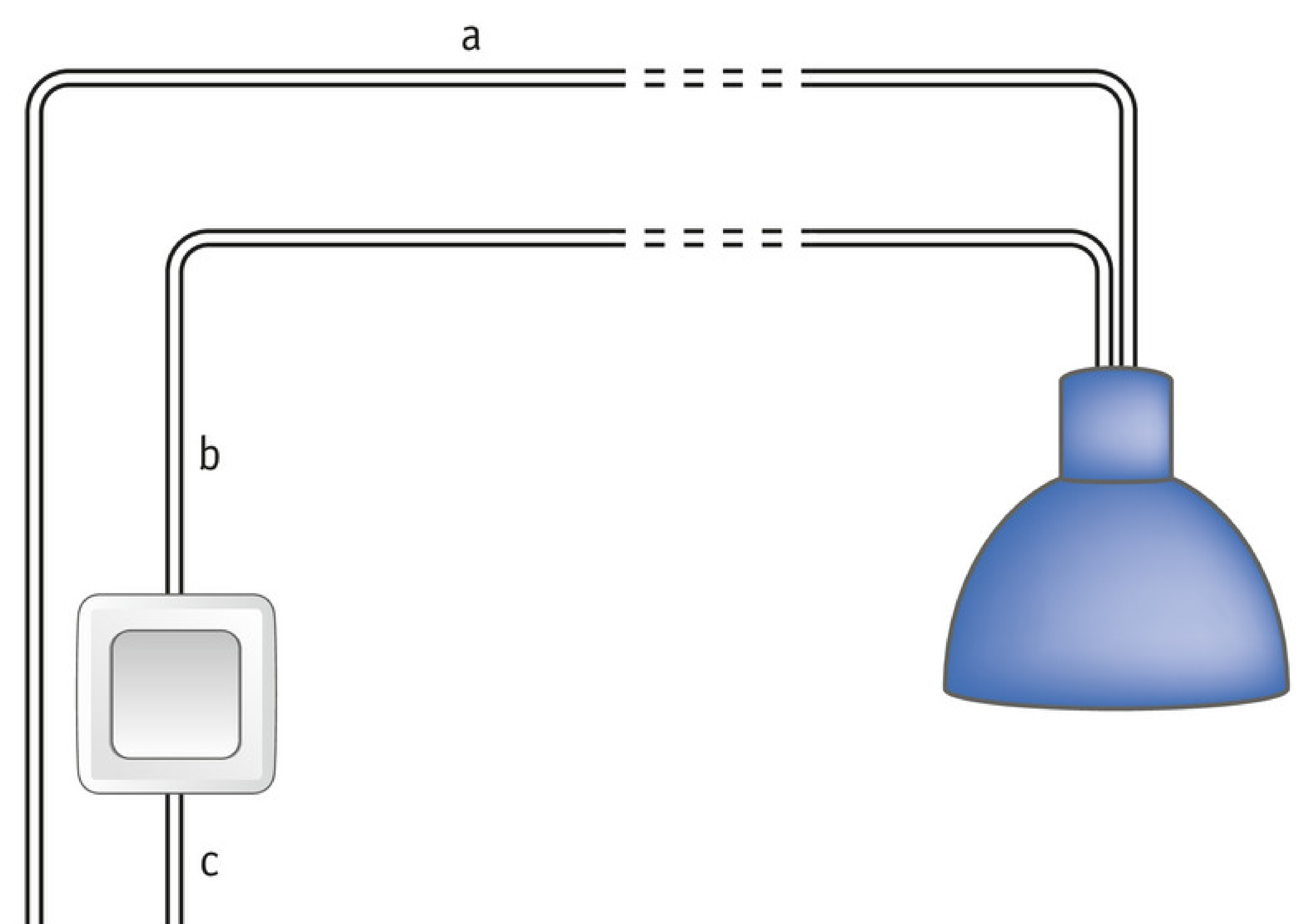
▼ **figuur 41**
Op deze manier zijn zonnepanelen opgenomen in de huisinstallatie.



opgaven

27 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke kleuren hebben de fasedraad, de nuldraad, de schakeldraad en de aardedraad?
- **b** Wat is er aan de hand wanneer er in een apparaat kortsluiting ontstaat?
- **c** Door welke twee oorzaken kan de stroomsterkte in een groep te groot worden?
- **d** In welke situatie geeft een aardlekschakelaar je meer veiligheid dan een zekering kan doen?

28 In figuur 42 zie je hoe een lamp op het lichtnet is aangesloten.
Welke letter staat er bij:
- **a** de fasedraad?
- **b** de nuldraad?
- **c** de schakeldraad?



▶ **figuur 42**
Hoe is deze hanglamp aangesloten?

29 In een heteluchtoven zit een verwarmingselement dat de lucht verhit (1450 W), een ventilator voor het verspreiden van de hete lucht (80 W) en een grill (1300 W).
In de keuken staan daarnaast nog een koffiezetapparaat (800 W), een koelkast (100 W) en een afwasmachine (1800 W).
- **a** Bereken de maximale stroom door de heteluchtoven.
- **b** Stel dat al deze apparaten in dezelfde groep zitten en tegelijk worden aangezet.
  Zal de zekering de groep dan uitschakelen?
- **c** Geef een voordeel en een nadeel voor het aanleggen van een eigen groep voor de heteluchtoven.

VERLENGSNOER 230 VOLT
- lengte 40 meter
- maximaal vermogen 1100 watt opgerold
- maximaal vermogen 3500 watt afgerold



▲ **figuur 43**
een kabelhaspel

***30** In een folder staat een advertentie voor een kabelhaspel (figuur 43).
Daarin wordt ervoor gewaarschuwd dat de kabel maar een beperkt vermogen kan vervoeren.
- **a** Bereken hoe groot de maximale stroomsterkte is:
  - als de kabel helemaal is afgerold.
  - als de kabel nog op de haspel zit.
- **b** Anne gebruikt de kabelhaspel om een straalkachel van 2,8 kW aan te sluiten op het lichtnet.
  Leg uit wat er fout kan gaan als hij de kabel niet eerst helemaal afrolt.
- **c** Waaruit kun je afleiden dat het koperdraad van de kabel ongeveer even dik is als het koperdraad in de huisinstallatie?

31 Als je een draad beetpakt waar een spanning van 230 V op staat, krijg je een stevige schok. Van schrik kunnen je handen dan nat van het zweet worden.

a Hoe verandert daardoor de stroomsterkte door je lichaam?

b Hoe komt het dat het dan moeilijker wordt om de draad weer los te laten?

32 In de keuken van Peters flat staan drie elektrische apparaten aan: de wasmachine, de elektrische oven en de koelkast. Op het moment dat Peter ook nog zijn waterkoker aanzet, valt opeens de elektriciteit uit.

a Noteer twee mogelijke oorzaken voor het uitvallen van de elektriciteit.

b De televisie in Peters huiskamer doet het nog wel.
Hoe kan het dat daar de elektriciteit niet is uitgevallen?

c Peter ziet in de meterkast dat het hefboompje van een van de zekeringen omlaag staat. Als hij dit hefboompje omhoog duwt en loslaat, valt het meteen weer terug.
Wat had Peter eerst moeten doen?

33 Amel maakt haar huiswerk. Als het daarvoor te donker wordt, drukt ze op de schakelaar van haar bureaulamp. Tot haar ergernis gaat de lamp niet aan.

a Geef daarvoor drie mogelijke oorzaken.

b Amel kijkt naar buiten. Overal in de straat branden er lampen in de huizen.
Welke mogelijke oorzaak kan ze dus uitsluiten?

c Amel zet de computer op haar bureau aan. Die start meteen op.
Welke oorzaak kan ze dus ook uitsluiten?

d Welke mogelijkheid is er nu nog over en hoe kan Amel testen of dit echt de oorzaak is?

34 Hieronder worden vijf situaties beschreven.

1 Bé probeert drie apparaten (samen 4,2 kW) tegelijkertijd op één groep te laten werken.
2 Elise krijgt onverwacht een schok als ze een kapotte waterkoker aanraakt.
3 Door loszittende bedrading is er kortsluiting ontstaan in Gemma's televisie.
4 Ingrid raakt met haar hand de randaarde van een geaard stopcontact aan.
5 Jesse laat de (werkende) föhn in het bad vallen dat nog vol met water zit.

In welke situatie(s):

a zal de groepszekering de stroom uitschakelen?

b zal de aardlekschakelaar de stroom uitschakelen?

c gebeurt er niets, omdat er geen gevaar bestaat?

35 Als David zijn elektrische oven aanraakt, krijgt hij een schok. Op dat moment loopt er een stroom van 8,25 A door de fasedraad en een stroom van 8,21 A door de nuldraad.

a Bereken de grootte van de lekstroom.

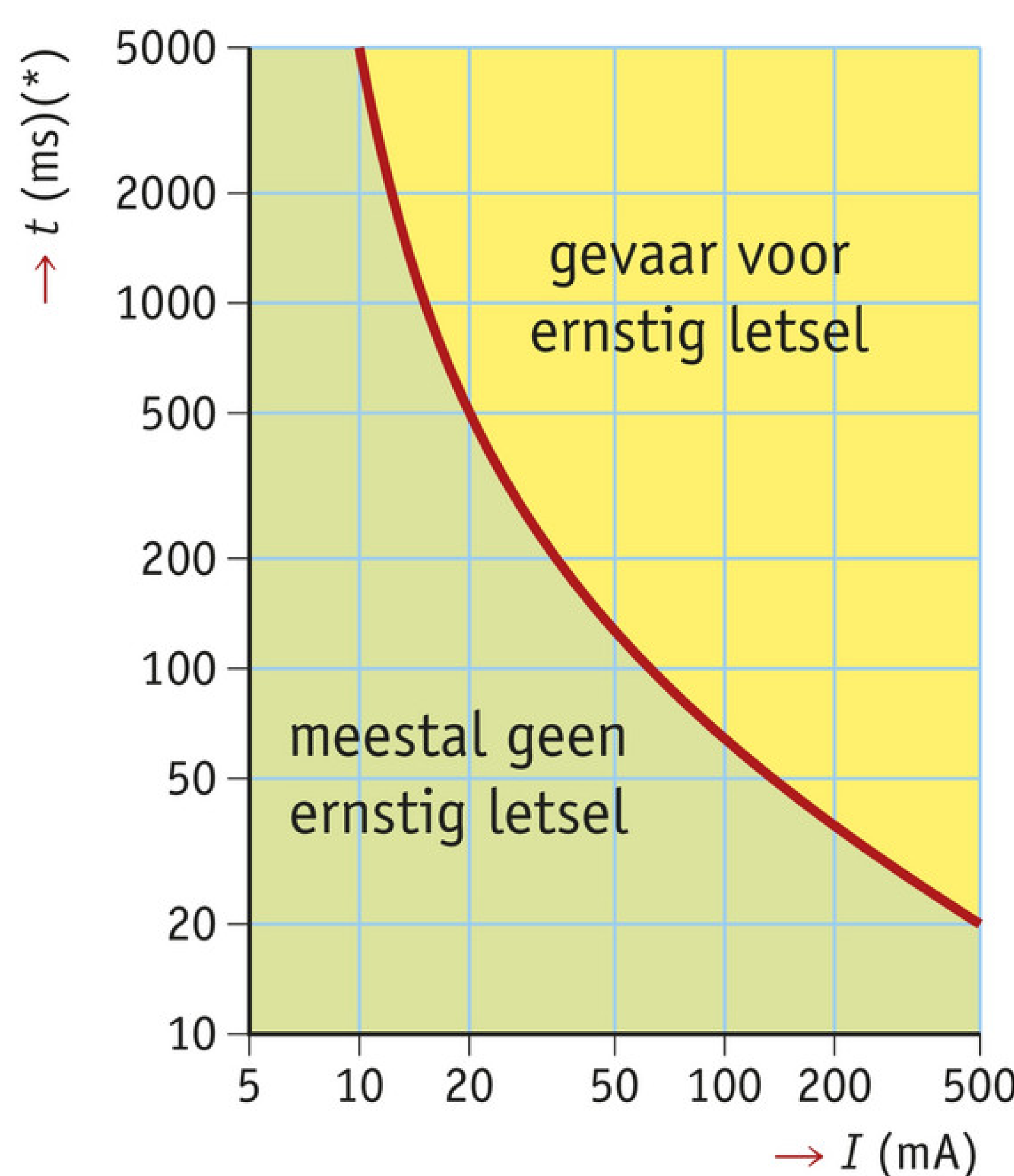
b Leg uit of de aardlekschakelaar de stroom zal uitschakelen.

c Bij reparatie van de oven bleek dat de isolatie van de fasedraad was beschadigd. Bovendien zat de aarddraad los.
Leg uit waarom David geen schok had gekregen, als de aarddraad goed had vastgezeten.

36 Hoe groot het letsel van een elektrische schok is, hangt af van de stroomsterkte en van de tijd dat de stroom door het lichaam loopt (figuur 44).

a Binnen welke tijd moet een aardlekschakelaar de stroom uitschakelen om het risico beperkt te houden:
- bij een stroomsterkte van 20 mA?
- bij een stroomsterkte van 200 mA?

b Op de website www.veiligheid.nl staat: 'De aardlekschakelaar schakelt uit als de lekstroom groter is dan 30 milliampère en minimaal 20 milliseconden aanhoudt en maakt daarmee elektrocutie onmogelijk.' Klopt deze bewering met de informatie in de figuur? Leg uit.



▲ **figuur 44**
de gevaargrens bij een elektrische schok

***37** Gilles controleert met een spanningzoeker of er spanning op een stopcontact staat. Het neonlampje in de spanningzoeker gaat branden als hij met een vinger op het rode uiteinde drukt (figuur 45).

a Is het een sterke stroom die dan door het neonlampje en zijn vinger naar de aarde loopt? Hoe weet je dat?

b Het valt Gilles op dat het neonlampje feller gaat branden als hij met zijn andere hand een waterkraan aanraakt.
Hoe komt het dat de stroomsterkte dan toeneemt? Gebruik het woord 'weerstand' in je uitleg.

c Zijn de waterleidingbuizen in Gilles' huis van koper of van plastic gemaakt? Licht je antwoord toe.



▲ **figuur 45**
een stopcontact onderzoeken met een spanningzoeker

Plus Zonnepanelen

38 Een zonnepaneel van 1,6 bij 1,0 m levert 250 Wp. Volgens de fabrikant levert het paneel in Nederland jaarlijks 80 kWh elektrische energie. Gemiddeld gebruikt een huishouden 3500 kWh per jaar.

a Bereken hoeveel Wp nodig is om een gemiddeld huishouden van elektrische energie te voorzien.

b Inclusief installatie kostte in maart 2013 een zonnepaneel € 0,82 per Wp.
Bereken de kosten van de hele installatie.

c Met een volledige installatie heeft een huishouden geen elektrische energie uit het lichtnet nodig.
Bereken na hoeveel tijd de kosten van de installatie zijn terugverdiend als 1 kWh € 0,22 kost.

d Hoe verandert deze terugverdientijd als de stroomprijs vanuit het net stijgt?

39 Voor de productie, het transport en de recycling van een zonnepaneel van 1,0 m^2 is 500 kWh nodig. De energiebalans geeft aan na hoeveel tijd dat zonnepaneel diezelfde hoeveelheid energie heeft geleverd. Pas daarna gaat het zonnepaneel netto energie leveren.

a Leg uit waarom die tijd in Zuid-Frankrijk korter is dan in Nederland.

b In Nederland levert een zonnepaneel gemiddeld over dag en nacht 13,2 W/m^2.
Bereken hoeveel kWh het paneel jaarlijks levert.

c Bereken na hoeveel jaar het paneel echt energie begint te leveren.

Practicum

Je docent zal je vertellen van welke proeven je een verslag moet maken. Zie daarvoor vaardigheid 10 achter in je boek.

Proef 1 Meten met een kWh-meter 20 min

Inleiding

Met een kWh-meter kun je het energiegebruik van een elektrisch apparaat meten. Maar kleine hoeveelheden energie kan het telwerk van zo'n meter niet goed weergeven. Daarvoor leer je bij deze proef een andere meetmethode.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Hoe kun je met een kWh-meter het vermogen van een apparaat bepalen?

Nodig

- kWh-meter met schijf
- verschillende elektrische apparaten
- stopwatch

Uitvoeren en uitwerken

Meten

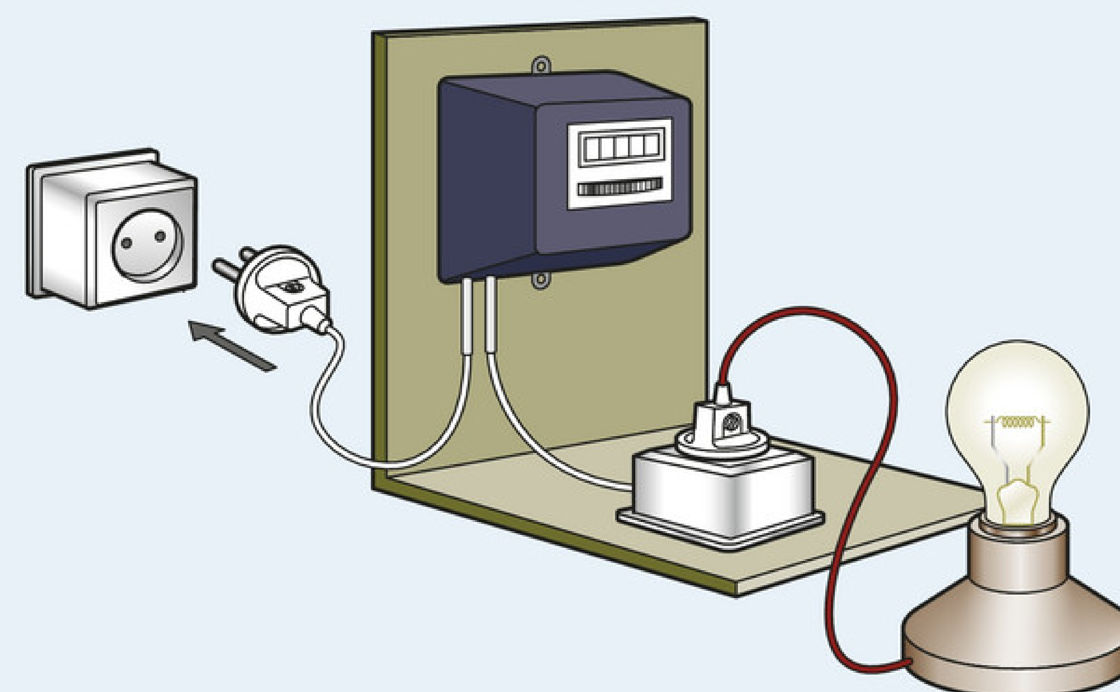
De schijf in de kWh-meter gaat draaien als er elektrische energie wordt gebruikt. Zo wordt het telwerk in de meter aangedreven. Op de kWh-meter staat een getal C. Die C geeft het aantal omwentelingen aan per kWh energiegebruik.

1 Noteer het getal C dat op de kWh-meter staat vermeld.

2 Noteer het vermogen van het apparaat dat je gaat gebruiken.

– Sluit het apparaat aan op de kWh-meter zoals in figuur 46 is weergegeven en zet het aan.
– Meet hoeveel tijd nodig is om de schijf van de kWh-meter tien keer te laten ronddraaien.

3 Noteer de tijd die je hebt gemeten.
4 Bepaal het vermogen van het apparaat met behulp van je meetgegevens. Vergelijk de uitkomst met de informatie op het typeplaatje en verklaar een eventueel verschil.
5 Beantwoord de onderzoeksvraag.



▲ **figuur 46**
de opstelling van proef 1

Proef 2 Meten met een vermogensmeter 30 min

Inleiding

Met een vermogensmeter kun je het vermogen en het energiegebruik van elektrische apparaten meten. Deze meter wordt ook wel een energiemeter of een energiekostenmeter genoemd. Van je docent krijg je (een link naar) de gebruiksaanwijzing. Lees die goed voordat je aan het werk gaat.

Doel

Je leert werken met een vermogensmeter.

Nodig

- vermogensmeter
- kWh-meter
- föhn
- waterkoker
- elektrisch kacheltje
- stopwatch

Uitvoeren en uitwerken

WAARSCHUWING
Je werkt bij deze proef met een spanning van 230 V. Wees dus voorzichtig. Houd je aan de aanwijzingen van je docent.

- Je docent zal je vertellen welke meting(en) je gaat uitvoeren.

Meting 1: Het vermogen van een föhn
- Steek de vermogensmeter in een stopcontact.
- Sluit de föhn aan op de vermogensmeter.
- Bepaal het opgenomen vermogen bij verschillende standen van de föhn (figuur 47).

1 Noteer je meetresultaten.
2 Noteer bij elke stand het vermogen; zie het typeplaatje.
3 Vergelijk de gegevens op het typeplaatje met je meetresultaten.
4 Bereken bij elke stand de afwijking in procenten. Wat is je conclusie?



▲ figuur 47
Zo meet je het opgenomen vermogen van een föhn.

Meting 2: Het energiegebruik van een waterkoker
- Stel op de vermogensmeter het actuele elektriciteitstarief in.
- Doe een halve liter water in de waterkoker.
- Zet de waterkoker aan en meet:
  - de hoeveelheid elektrische energie die nodig is om een halve liter water aan de kook te brengen;
  - de daarvoor benodigde tijd.

5 Noteer:
- de benodigde tijd;
- hoeveel elektrische energie de waterkoker heeft gebruikt;
- de kosten van deze hoeveelheid energie.

6 Bereken het energiegebruik met het vermogen op het typeplaatje en de gemeten tijdsduur.
7 Vergelijk het berekende energiegebruik (vraag 6) met het gemeten energiegebruik (vraag 5).
8 Bereken de afwijking in procenten. Wat is je conclusie?

Meting 3: De vermogensmeter controleren met een kacheltje
De schijf in de kWh-meter gaat draaien als er elektrische energie wordt gebruikt. Zo wordt het telwerk in de meter aangedreven. Op de kWh-meter staat een getal C. Die C geeft het aantal omwentelingen aan per kWh energiegebruik (proef 1).

9 Kies hoeveel omwentelingen je de schijf van de kWh-meter wilt laten maken.
10 Bereken met hoeveel kWh dit aantal omwentelingen overeenkomt.

- Sluit de kWh-meter aan op de vermogensmeter.
- Sluit het kacheltje aan op de kWh-meter.
- Zet het kacheltje aan en wacht tot de kWh-meter het afgesproken aantal omwentelingen heeft gemaakt. Meet ondertussen het energiegebruik met de vermogensmeter.

11 Hoe groot is het energiegebruik volgens de vermogensmeter?
12 Vergelijk het energiegebruik volgens de kWh-meter (vraag 10) met het energiegebruik volgens de vermogensmeter (vraag 11).
13 Bereken de afwijking in procenten. Wat is je conclusie?

Proef 3 De transformator 30 min

Inleiding
De spanning van een spanningsbron is vaak te hoog of juist te laag voor het apparaat. Met een transformator kun je de spanning omhoog of omlaag transformeren, terwijl er bijna geen elektrische energie verloren gaat.

Doel
Je onderzoekt de eigenschappen van een transformator.

Nodig
- voedingskastje
- weekijzeren juk
- weekijzeren sluitstuk
- spoel met 300 windingen
- spoel met 600 windingen
- spanningsmeter of multimeter
- staaf van koper of aluminium
- snoeren

Uitvoeren en uitwerken
– Bouw de transformator van figuur 48.
– Voer de volgende onderzoeken uit en stel daarbij het voedingskastje in op 6 V (~ of =). Raadpleeg eventueel vaardigheid 4 achter in je boek over het gebruik van meetinstrumenten.

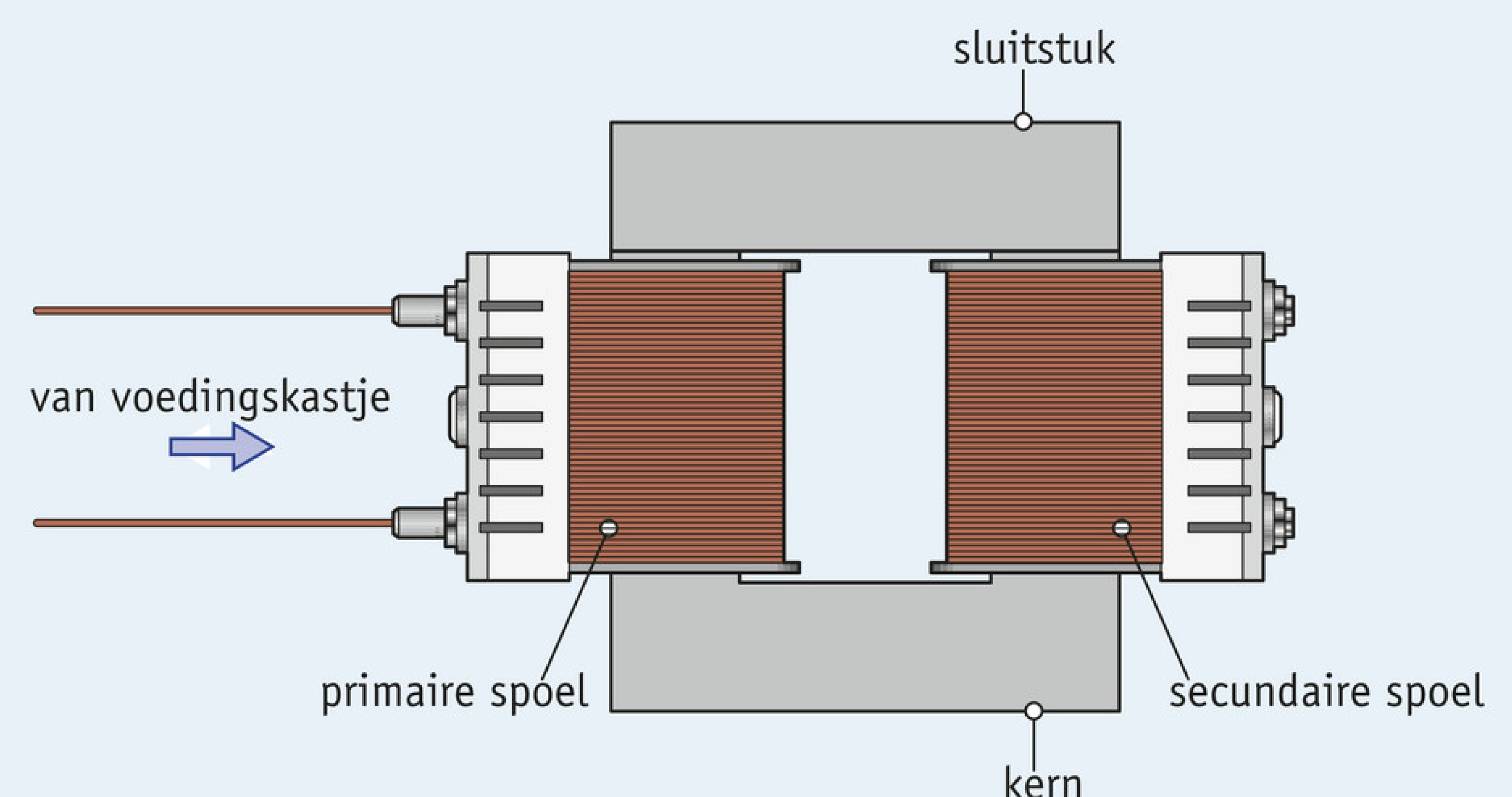
Onderzoek 1
Onderzoek of het mogelijk is:
– om gelijkspanning te transformeren;
– om wisselspanning te transformeren.

Onderzoek 2
Onderzoek hoe je een spanning van 6 V omhoog kunt transformeren. Welke spoel moet je dan als primaire spoel nemen en welke als secundaire? Hoe groot wordt de secundaire spanning?

Onderzoek 3
Herhaal onderzoek 2 maar dan door de spanning van 6 V omlaag te transformeren.

Onderzoek 4
Onderzoek wat er gebeurt als je het sluitstuk weghaalt of vervangt door een koperen of aluminium staaf. Verandert de (secundaire) spanning dan en, zo ja, hoe?

1 Noteer na elk onderzoek je conclusies.



▲ **figuur 48**
een eenvoudige transformator

Proef 4 Een zekering maken 30 min

Inleiding
Een smeltveiligheid is een eenvoudig soort zekering. Als de stroomsterkte door een draadje in de zekering te groot wordt, smelt het draadje door. De stroom wordt dan uitgeschakeld.

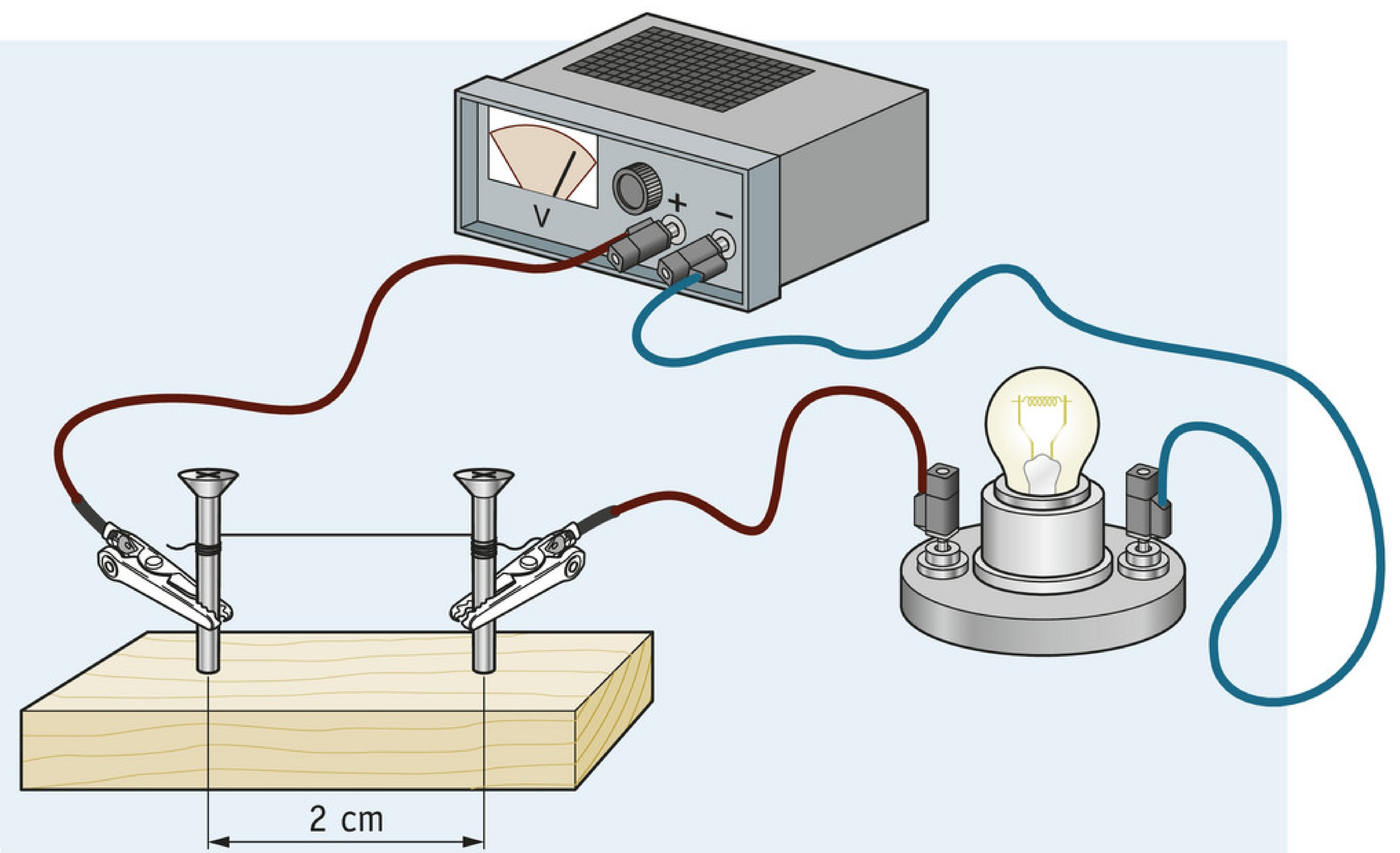
Doel
Je onderzoekt de rol die een zekering speelt bij het beveiligen van een schakeling.

Nodig
- voedingskastje
- twee krokodillenklemmen
- lampje
- vier snoeren
- stukje hout
- twee spijkertjes
- ijzerdraad

Uitvoeren en uitwerken

- Maak de zekering die in figuur 49 is getekend.
- Sluit het lampje en de zekering aan op het voedingskastje.
- Zet het voedingskastje aan. Stel de spanning in op 6 V.
- Je hebt nog één snoer over. Gebruik dit snoer om het lampje kort te sluiten. Kijk goed naar wat er gebeurt.

1 Beschrijf nauwkeurig wat je hebt waargenomen.
2 Teken het schema van de kortgesloten schakeling.
3 Verklaar waarom het draadje doorbrandt.
4 Leg in eigen woorden uit hoe de smeltveiligheid de schakeling beveiligt.



▲ **figuur 49**
een zelfgemaakte zekering

Proef 5 Een onderzoek uitvoeren: energie besparen 40 min

Inleiding

Stel je voor: op de verpakking van een spaarlamp staat dat deze lamp minstens 5× zo zuinig is als een gewone gloeilamp (figuur 50). Jij vraagt je af of die bewering wel klopt.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Is een spaarlamp minstens 5× zo zuinig als een gloeilamp met dezelfde lichtopbrengst?

Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat zoek je precies op en wat ga je meten? Hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Zie vaardigheid 1 achter in je boek.
Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan eventueel verbeteren.
- Voer vervolgens het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.
3 Beantwoord de onderzoeksvraag.

▶ **figuur 50**
Klopt de claim op de verpakking?



Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: het vermogen meten 30 min

Inleiding

Het vermogen van een elektrisch apparaat is op het typeplaatje aangegeven.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Klopt het opgegeven vermogen van het apparaat?

Uitvoeren en uitwerken

Zie proef 5.

Tips

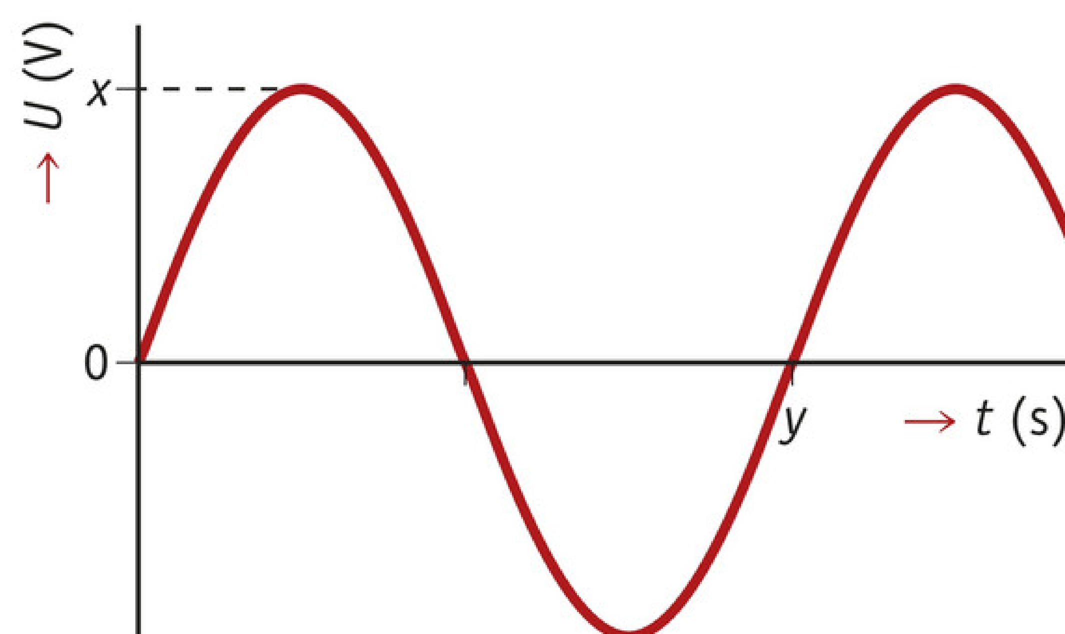
- Kies een apparaat dat je op verschillende standen kunt zetten, zoals een ventilator of een föhn.
- Gebruik een kWh-meter of een digitale verbruiksmeter.
- Denk goed na over de tijd dat je het apparaat laat werken.
- Zie vaardigheid 1 en 10 achter in je boek.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Neem over en vul in.
- **a** In de kabels van het elektriciteitsnet ontstaat energieverlies doordat de elektrische energie deels wordt omgezet in … .
- **b** Om het energieverlies te beperken, kun je elektrische energie het best vervoeren bij een zo … mogelijke spanning.
- **c** Daarom wordt de spanning die de … in de centrale leveren, meteen … getransformeerd.

2 Figuur 51 is een grafiek van de spanning van het lichtnet.
Welke waarde hebben de getallen *x* en *y* in de grafiek?
- A $x = 230$ $y = 0{,}01$
- B $x = 325$ $y = 0{,}01$
- C $x = 230$ $y = 0{,}02$
- D $x = 325$ $y = 0{,}02$



▲ figuur 51

3 Albert doet een serie proeven met een (ideale) transformator. Spoel A heeft 100 windingen, spoel B 400 windingen.
- **a** Albert sluit spoel A aan op een wisselspanning van 4,5 V.
  Hoe groot is de spanning die spoel B dan afgeeft?
- **b** Daarna sluit hij spoel B aan op een wisselspanning van 4,5 V.
  Hoe groot is de spanning die spoel A dan afgeeft?

4 Een halogeenlamp (12,0 V/0,40 A) is via een (ideale) transformator op het lichtnet aangesloten. De primaire spoel van de transformator heeft 690 windingen.
- **a** Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.
- **b** Bereken de stroom die het lichtnet levert als de lamp brandt. Geef je antwoord in een geheel aantal mA.

5 Neem over en vul in.
- **a** 45 MJ = … kWh
- **b** 1800 kJ = … kWh
- **c** 4,5 kWh = … MJ
- **d** 0,2 kWh = … kJ

6 Een ventilatorkachel heeft twee warmtestanden: 1,0 kW en 2,0 kW. Je steekt de stekker in het stopcontact en je kiest de hoogste stand.
- **a** Bereken de stroomsterkte door de kachel.
- **b** Na 6,0 min is het warm genoeg en zet je de kachel uit.
  Bereken het energiegebruik van de kachel in kWh.

7 Een transportkabel voor elektrische energie heeft een weerstand van 0,16 Ω. Door de kabel loopt een elektrische stroom van 200 A bij een spanning van 230 V.
- **a** Bereken het getransporteerde vermogen in kW.
- **b** Bereken het verlies door warmteontwikkeling in kW.
- **c** Bereken hoeveel procent van de getransporteerde energie er zo verloren gaat.
- **d** Herhaal de berekening bij een spanning van 23 kV. Het getransporteerde vermogen blijft even groot.

8 Ralf stofzuigt in een uur en een kwartier het hele huis. Het vermogen van de stofzuiger is 1200 W.
- **a** Bereken hoeveel elektrische energie de stofzuiger in die tijd heeft gebruikt.
- **b** Bereken hoeveel Ralf voor die elektrische energie moet betalen. 1 kWh kost € 0,22.

9 Een wasdroger van 2400 W gebruikt per jaar 432 kWh.
Bereken hoeveel uur die wasdroger gemiddeld per maand aanstaat.

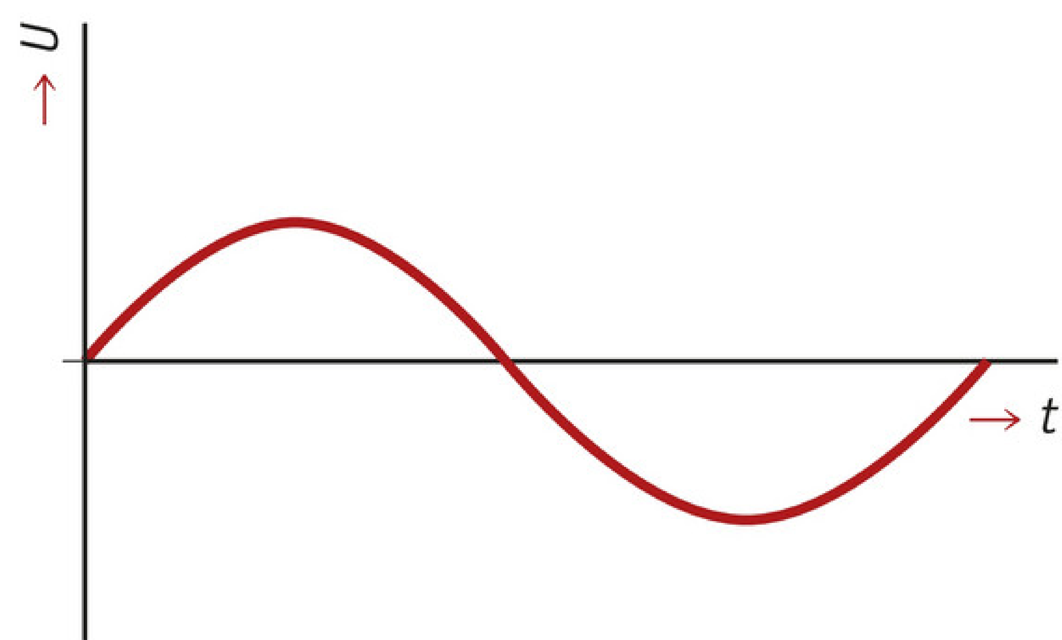
10 Nicole doet de proef van figuur 4 op bladzijde 63. De grafiek van de spanning die ze zo opwekt, zie je in figuur 52.

a Hoe noem je de spanning die ze zo opwekt?

b Ze herhaalt de proef vier keer met kleine veranderingen:

1. Ze steekt de magneet in de spoel, houdt hem even stil en haalt hem er weer uit.
2. Ze beweegt de magneet sneller heen en weer.
3. Ze gebruikt een sterkere magneet.
4. Ze draait de magneet en steekt de andere pool in de spoel.

Geef bij elke proef aan welke grafiek van figuur 53 daarbij hoort.



▲ figuur 52

11 Nathalie heeft een computer (120 W), een bureaulamp (12 W) en een ventilator (60 W) via een verlengsnoer aangesloten op een stopcontact. De stroomsterkte door het verlengsnoer mag hoogstens 6 A worden.
Hoe groot wordt de stroomsterkte in het snoer als alle apparaten aanstaan?

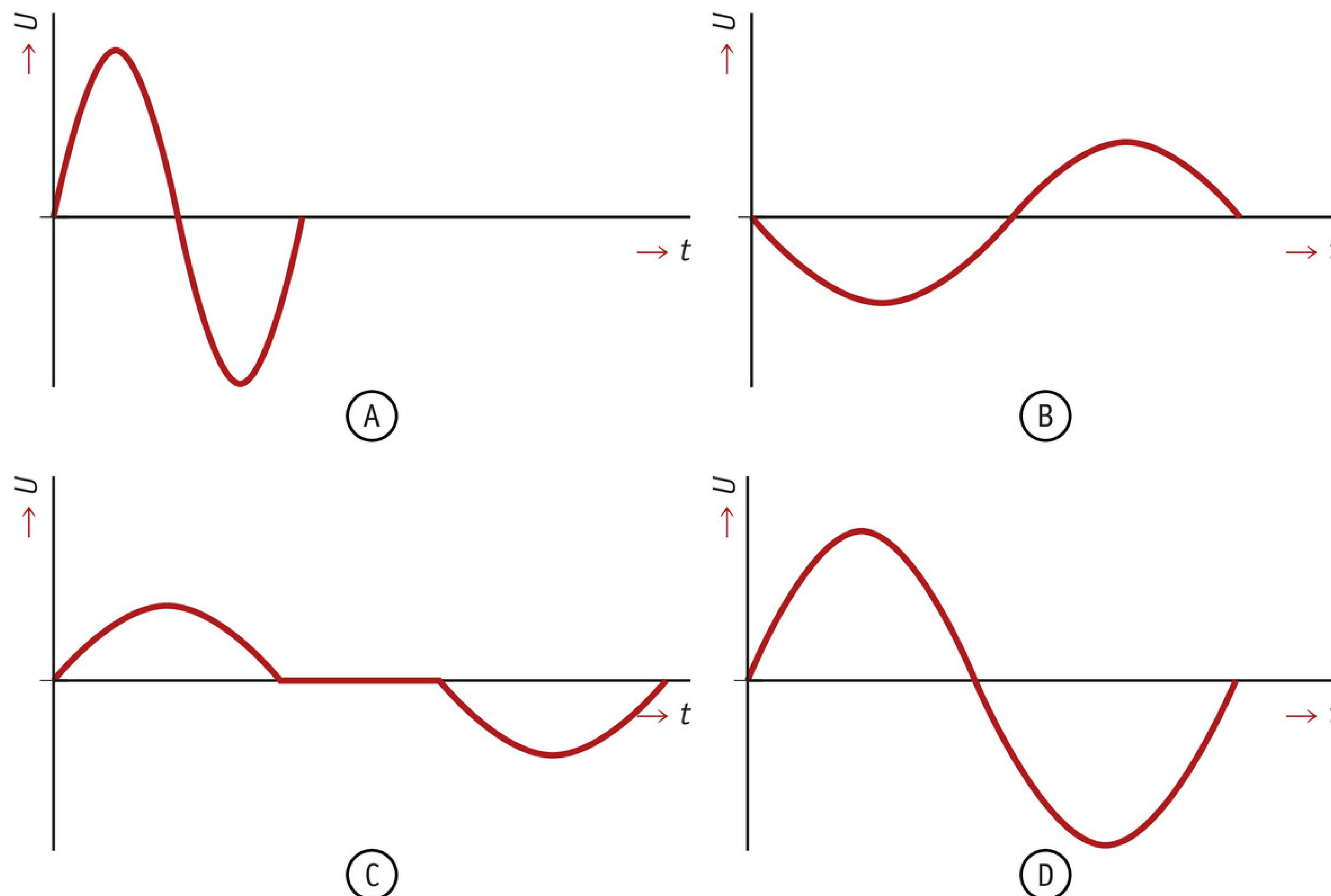
12 Vervolg van vraag 11.
Nathalie sluit ook nog een elektrisch kacheltje op het verlengsnoer aan. De stroomsterkte door het verlengsnoer stijgt daardoor tot 10 A.
Wat kan hiervan het gevolg zijn?

A Nathalie kan een schok krijgen als ze het snoer aanraakt.
B De computer kan door die grote stroomsterkte kapotgaan.
C De stroom kan met onregelmatige tussenpozen uitvallen.
D Het snoer kan zo heet worden dat er brand kan ontstaan.
E De aardlekschakelaar in de meterkast sluit de stroom af.

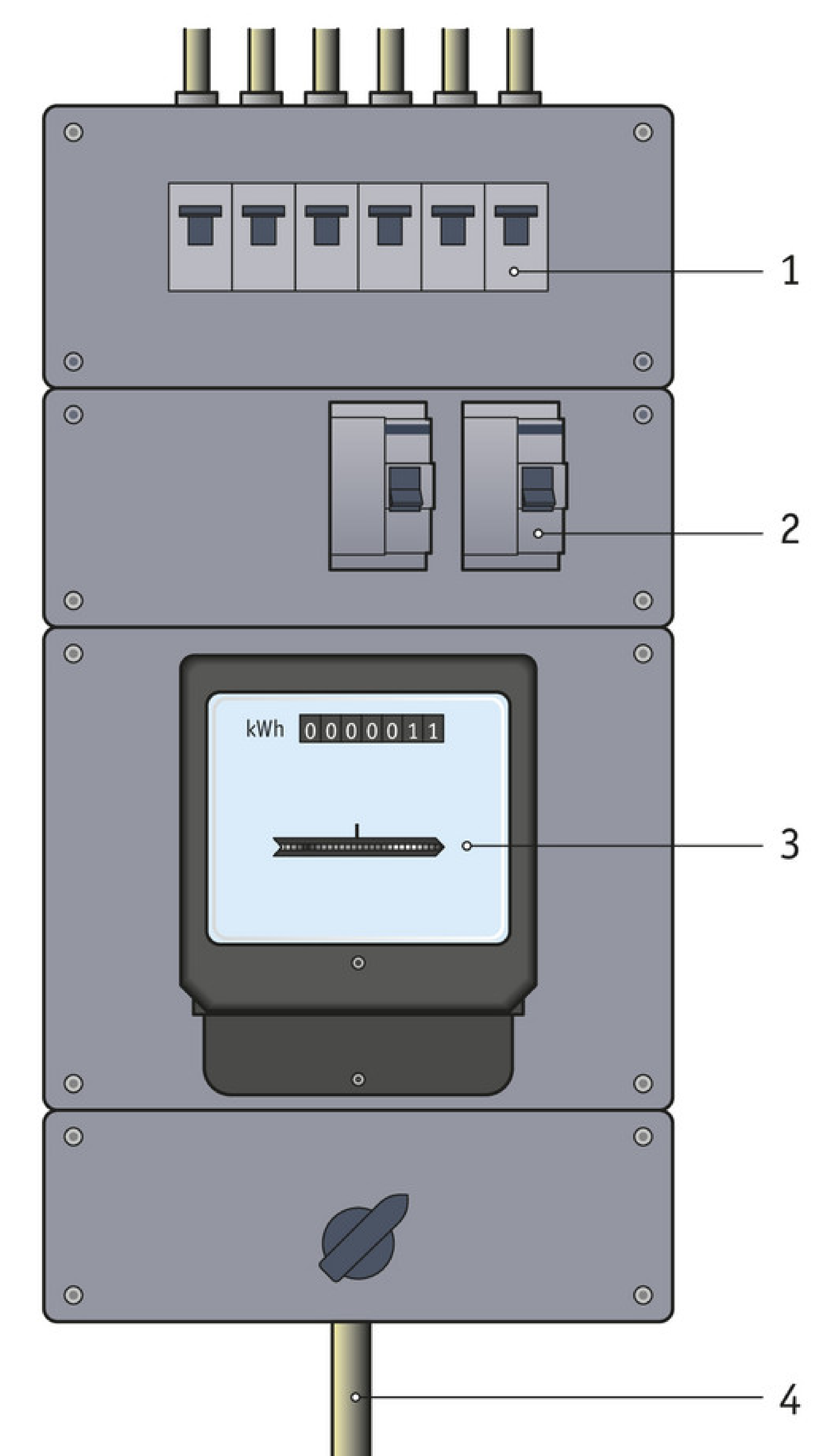
13 In figuur 54 zie je de meterkast van een woonhuis.

a Hoeveel groepen heeft deze huisinstallatie?

b Geef van de nummers 1 tot en met 5 de naam van het bijbehorende onderdeel.



▲ figuur 53



▶ figuur 54

14 Lees het krantenbericht in figuur 55.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
In een elektrische deken is kortsluiting ontstaan. Dat betekent dat de weerstand van de deken opeens veel *groter* / *kleiner* is geworden. Daardoor werd de stroomsterkte door de deken veel *groter* / *kleiner*. Normaal gesproken voorkomt een *zekering* / *aardlekschakelaar* dat er bij kortsluiting brand ontstaat. Blijkbaar was de stroomsterkte te *groot* / *klein* voor de deken, maar nog te *groot* / *klein* om de *zekering* / *aardlekschakelaar* te laten 'omslaan'.



Kortsluiting elektrische deken

NIJMEGEN – Een kortsluiting in een elektrische deken is er de oorzaak van geweest dat zondagnacht een slaapkamer van een woning aan de Teersdijk nagenoeg volledig uitbrandde. De brand werd tijdig ontdekt zodat de bewoners een goed heenkomen konden zoeken. De rest van de woning liep flinke rook- en waterschade op.

▲ **figuur 55**

15 De isolatie van de vrieskist van meneer en mevrouw Schyns is kapot. Daardoor staat de metalen buitenkant van de vrieskist onder spanning. Als meneer Schyns de vrieskist aanraakt, loopt er een lekstroompje van 50 mA naar de aarde. Gelukkig voor meneer Schyns is er een apparaat in de meterkast dat de spanning dan meteen uitschakelt.
Hoe heet dit apparaat?

16 Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.
- **a** Als je huid nat wordt, wordt de contactweerstand veel groter.
- **b** De effectieve waarde van een wisselspanning is altijd kleiner dan de maximale waarde.
- **c** De installatieautomaten in de meterkast zorgen ervoor dat er in de huisinstallatie geen kortsluiting kan ontstaan.
- **d** De aardleiding in de meterkast is verbonden met een metalen pin diep in de bodem.

***17** Op de site www.nuon.nl stond in 2014 het volgende:

> Vraag u af of u het klokje op uw (combi)-magnetron echt nodig hebt. Zo niet, trek dan de stekker eruit als u de magnetron niet gebruikt. U bespaart € 4,- per jaar.

In 2014 betaalde je € 0,22 voor 1 kWh.
Bereken het vermogen van het klokje (in W) als het helemaal niet aanstaat.

18 Thomas en Lars discussiëren over het energiegebruik van elektrische apparaten. Thomas zegt: "Een lamp van 5 W gebruikt minder energie dan een boormachine van 1400 W." Lars is van mening dat Thomas dit niet zomaar kan zeggen: "Dat hangt er maar van af."
Leg uit wie er gelijk heeft en waarom.

***19** Sylvie bepaalt met een kWh-meter het vermogen van een broodrooster. Bij de kWh-meter gaat een schijf ronddraaien als er energie wordt gebruikt. De schijf van de kWh-meter van Sylvie maakt 1200 omwentelingen per kWh energiegebruik. Ze zet het broodrooster aan en telt 57 omwentelingen in 3,0 min.
Bereken het vermogen van het broodrooster.

20 Op de website van een energiebedrijf staat veiligheidsinformatie over badkamers.
- **a** Waarom moet je juist in de badkamer niet zelf gaan knutselen met elektriciteit?
- **b** De badkamer is ingedeeld in drie zones.
  Leg uit waarom een elektrische aansluiting in de buurt van een kraan het grootste risico oplevert.

Een supernetwerk

Duurzame energie wordt steeds belangrijker in Europa. Er is genoeg zon, wind en waterkracht om heel Europa van elektrische energie te voorzien. Waait het niet in Schotland, dan schijnt de zon wel in Spanje. Maar hoe krijg je de energie daar waar die nodig is? Hoe kun je bij een energietekort in Schotland duurzame elektriciteit van Spanje naar Schotland vervoeren, of in omgekeerde richting, als Spanje te weinig heeft? Het Europese supergrid zou daarvoor een oplossing kunnen zijn.



voor Europa



Een nadeel van duurzame energiebronnen is dat het aanbod zo kan fluctueren. De ene dag waait het flink en draaien de windturbines er vrolijk op los. De volgende dag is het windstil en staan de windturbines stil. Zonne-energie is er alleen overdag, en het aanbod is in de zomer veel groter dan in winter. Door al die fluctuaties hebben landen de ene keer een overschot aan duurzame energie en de andere keer een tekort. Dat is lastig, omdat er nog steeds geen goede transportmogelijkheden zijn. Daardoor kunnen landen met een overschot dat niet kwijt aan de rest van Europa. Ook kunnen landen met een tekort geen duurzame elektriciteit importeren. En dus zetten ze hun oude, vervuilende centrales maar weer aan …

De NorNed-kabel

Nederland en Noorwegen laten zien dat het ook anders kan. In 2008 namen deze twee landen de NorNed-kabel in gebruik: een 580 km lange, onderzeese hoogspanningskabel tussen Feda in Noorwegen en de Eemshaven in Nederland. Vanaf dat moment kan Noorwegen elektrische energie leveren aan Nederland, of Nederland aan Noorwegen – het is maar net wat het voordeligst is.

Noorwegen produceert vrijwel alle stroom met waterkracht uit stuwmeren. Dat is duurzaam en (meestal) ook goedkoop. Daar staat tegenover dat er in droge jaren grote tekorten kunnen ontstaan. De elektriciteit wordt dan opeens enorm duur. Nederland heeft in het noorden veel aardgas en er staan grote centrales. Die zijn weliswaar niet duurzaam, maar ze kunnen wel op elk gewenst moment elektriciteit leveren.
Het energiegebruik in de twee landen verschilt ook. In Nederland wordt ’s nachts maar weinig elektriciteit gebruikt, in Noorwegen is het gebruik ’s nachts vrij hoog. Nederland heeft verwarming met aardgas, Noorwegen heeft elektrische verwarming, die ’s winters veel energie opslorpt.

Door die verschillen kunnen beide landen van de NorNed-kabel profiteren. Overdag kan Noorwegen goedkope en schone *hydropower* naar Nederland exporteren. ’s Nachts kunnen de Nederlandse centrales constant door blijven draaien en stroom de andere kant op leveren, richting Noorwegen. En in droge jaren helpt de Nederlandse stroom voorkomen dat de Noren opeens met tekorten en een torenhoge energierekening worden geconfronteerd.

HDVC-technologie

De hoogspanningsleidingen in Europa, ook die in Noorwegen en Nederland, werken met wisselspanning. Dat is een uitstekend systeem, zolang de afstanden maar niet te groot zijn. Tot circa 100 km gaat het prima. Maar bij grotere afstanden ontstaan er problemen. Er gaat dan zó veel energie verloren in de kabels, dat het energietransport meer geld kost dan het oplevert.



Technische gegevens NorNed:

- kabellengte 580 km, waarvan 420 km kabel in ondiep water (tot 50 m diepte) en 160 km kabel op een diepte tot maximaal 410 m
- totale massa kabel: 47 000 ton
- massa koper in kabel: 9000 ton
- maximale spanning op de kabel: +450 kV en −450 kV
- kabelcapaciteit: 700 MW
- aanlegkosten: 600 miljoen euro

De NorNed-kabel werkt met gelijkspanning. Het is een HDVC-verbinding die *high voltage* (= hoogspanning) combineert met *direct current* (= gelijkstroom). Er is voor de HDVC-technologie gekozen, omdat gelijkspanning voor grote afstanden efficiënter is dan wisselspanning. Dat maakt het rendabel om elektrische energie over honderden kilometers te vervoeren.

HDVC heeft ook nadelen. De wisselspanning van het gewone elektriciteitsnet moet speciaal voor de NorNed-kabel worden omgezet in gelijkspanning. Aan het andere uiteinde moet van die gelijkspanning weer wisselspanning worden gemaakt. Dat is technisch nog niet zo eenvoudig en vereist veel apparatuur. De convertorstations bij Feda en bij de Eemshaven beslaan elk circa twee voetbalvelden.

Technisch hoogstandje

De NorNed-kabel heeft een capaciteit van 700 MW, genoeg om een miljoen huishoudens van elektrische energie te voorzien. Die 700 MW gaat door twee koperen aders met een doorsnede van slechts 3,5 cm. De kabel bestaat verder uit isolatiemateriaal, pantsering en afdichting. Binnenin loopt de temperatuur op tot 50 °C, aan de buitenkant tot hooguit 35 °C.
In de NorNed-verbinding is veel geavanceerde technologie toegepast. Dat maakt de verbinding ook storingsgevoelig. De kabel werkte in de eerste twee jaar tien keer niet, soms maanden achter elkaar. De oorzaken waren divers: kabelbreuken, kortsluiting, defecte onderdelen, haperende software.
Inmiddels lijken de kinderziektes overwonnen. Economisch is de kabel al vanaf het begin een groot succes. De handel in elektriciteit tussen Noorwegen en Nederland loopt als een trein. Niemand had verwacht dat de 600 miljoen euro aanlegkosten al in 2014, zes jaar na de ingebruikname, waren terugverdiend.

De toekomst: een supergrid?

Het succes van de NorNed-kabel staat niet op zichzelf. Er zijn meer landen in Europa met een HVDC-verbinding, zoals Frankrijk en Groot-Brittannië (2000 MW,



73 km), Griekenland en Italië (500 MW, 313 km) en Polen en Zweden (254 km, 600 MW). Nederland heeft sinds 2011 ook een HVDC-verbinding met Groot-Brittannië (1000 MW, 259 km). In 2014 is er ook een contract gesloten tussen Nederland en Denemarken voor de aanleg van een 700MW-verbinding van 300 km lang. Die kabel moet klaar zijn in 2019.

Volgens sommige energiedeskundigen is dit nog maar het begin. Met de huidige HVDC-technologie kan één kabel tot 7000 MW vervoeren over meer dan 2000 km: de afstand tussen Edinburgh in Schotland en Sevilla in Zuid-Spanje. Dat maakt het technisch mogelijk om alle landen in Europa te verbinden in één groot Europees supernetwerk.
Zo'n *European supergrid* is goed nieuws voor producenten van duurzame energie. Europa wil een groot deel van zijn elektriciteit duurzaam opwekken. Het supernetwerk maakt dat mogelijk doordat duurzame energie gemakkelijk kan worden geïmporteerd en geëxporteerd: de nationale energiebedrijven kunnen pieken en dalen in het aanbod daardoor veel beter opvangen.
Maar zover is het nog lang niet. Om te beginnen zal er geld op tafel moeten komen. De kosten van een supernetwerk worden geschat op meer dan 125 miljard euro. Geen bedrag dat de landen in Europa zomaar even kunnen ophoesten. Ook zullen er afspraken moeten komen over het gebruik en het beheer, en dat is met zoveel verschillende landen niet eenvoudig. Energielobbyist Tara Connolly van milieuorganisatie Greenpeace is desondanks optimistisch: "Een groot deel van het huidige netwerk is veertig jaar oud en moet binnenkort worden vervangen. Investeren moeten we toch – het gaat erom waaraan we ons geld het best kunnen besteden." Zij kiest overtuigd voor een Europees supernetwerk. En nu maar afwachten of Europa het daar mee eens is.



Opgaven

1 Bereken met de gegevens in de tekst:
a hoe groot de (totale) stroomsterkte door de koperen aders is, als de maximale capaciteit van de NorNed-kabel wordt benut.
b hoeveel kWh elektrische energie de NorNed-kabel in één dag kan vervoeren van Nederland naar Noorwegen (of omgekeerd).

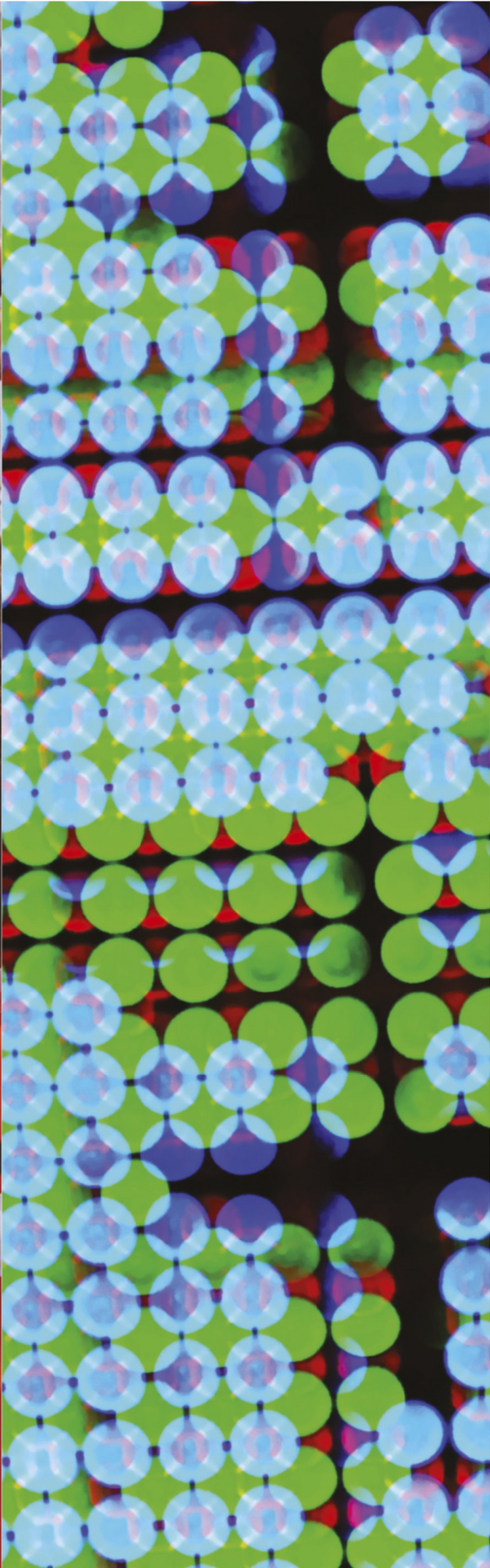
2 Leg uit waarom er in Noorwegen 's nachts relatief veel elektrische energie wordt gebruikt.

3 Hoeveel Nederlandse huishoudens kunnen er door de kabel naar Denemarken van elektrische energie worden voorzien?

4 Voor de NorNed-kabel is gebruikgemaakt van de HVDC-technologie.
a Waarom wordt er voor energietransport over lange afstand gekozen voor HVDC-kabels in plaats van gewone hoogspanningslijnen?
b Waarom is HDVC niet geschikt voor het gewone elektriciteitsnet, dat de elektrische energie verdeelt over steden en dorpen?

5 Technisch is het mogelijk om een Duits overschot aan elektrische energie uit wind tijdelijk op te slaan in Noorse stuwmeren. Er zijn plannen om hiervoor een HVDC-verbinding te leggen tussen Duitsland en Noorwegen.
Leg uit:
a hoe je een overschot aan duurzame energie kunt opslaan in een stuwmeer.
b op welke manier je de opgeslagen energie weer bruikbaar kunt maken.
c hoe het komt dat de opslagcapaciteit beperkt is en niet altijd even groot.





3 Licht en lenzen

Beelden maken met licht

Optische apparaten zoals camera's, beamers en telescopen, maken beelden met licht. Om zo'n beeld te maken, moeten lichtstralen van richting veranderen. Dat kan met een spiegel, maar de meeste optische apparaten gebruiken daar lenzen voor.

1 Lichtbreking



▲ **figuur 1**
Dit effect ontstaat door lichtbreking.

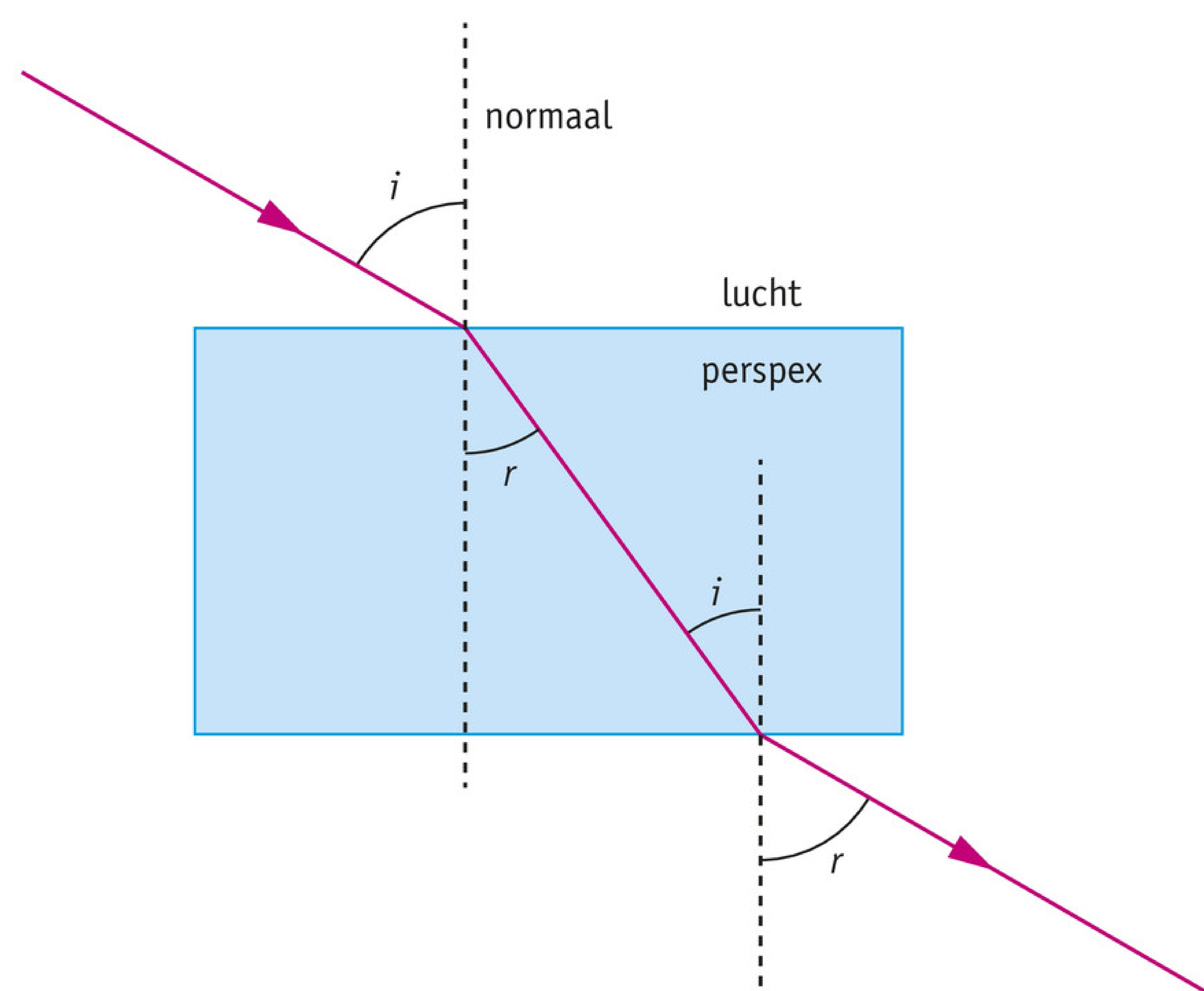
Met spiegels, lenzen en prisma's kun je de richting van lichtstralen veranderen. Met de lens van een vergrootglas bijvoorbeeld, kun je het zonlicht concentreren in één punt. De temperatuur wordt daar dan erg hoog.

Hoek van inval en hoek van breking Proef 1

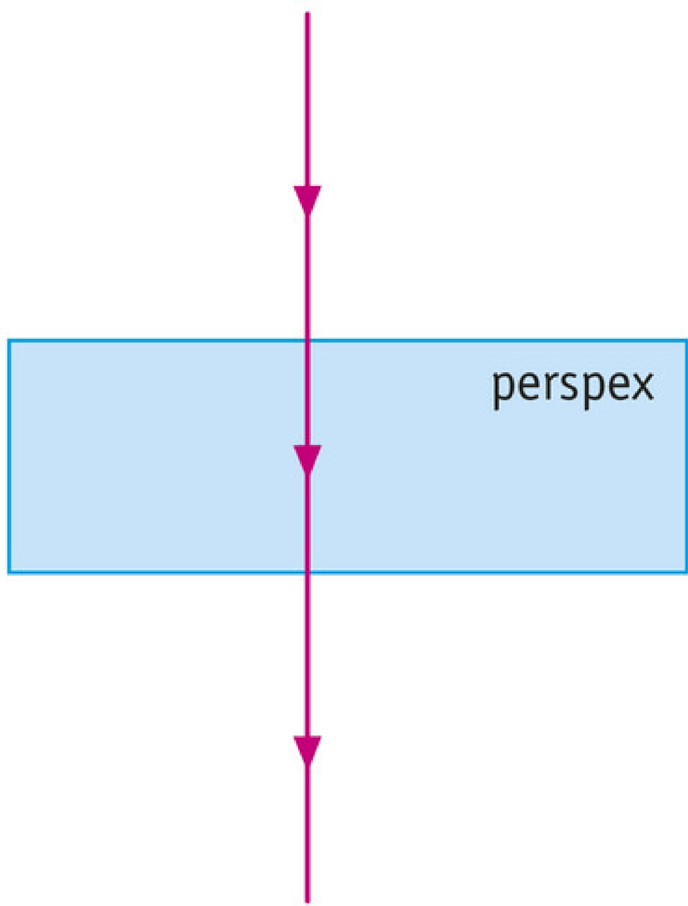
Een dunne lichtbundel – een **lichtstraal** – beweegt langs een rechte lijn, totdat die een grensvlak tegenkomt, bijvoorbeeld een overgang van lucht naar water. Op dat grensvlak verandert de lichtstraal van richting. Dit verschijnsel heet **lichtbreking**. In figuur 1 zie je een effect van lichtbreking.

In figuur 2 zie je hoe een lichtstraal door een perspex blokje wordt gebroken. Perspex is een transparante heldere kunststof. De gestippelde lijn, loodrecht op het grensvlak, is de **normaal**. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal is de **hoek van inval** (∠*i*). De hoek tussen de uittredende lichtstraal en de normaal is de **hoek van breking** (∠*r*). (Die *r* komt van refractie. Dat is een ander woord voor breking, afgeleid van het Latijnse *re* = 'terug' en *frangere* = 'breken'.)
Voor deze breking geldt:

- Bij de overgang van lucht naar perspex breekt de lichtstraal naar de normaal toe: ∠*r* is dan kleiner dan ∠*i*.
- Bij de overgang van perspex naar lucht breekt de lichtstraal van de normaal vandaan: ∠*r* is groter dan ∠*i*.
- Lichtstralen die loodrecht op het perspex vallen, veranderen niet van richting (figuur 3).



▶ **figuur 2**
Een lichtstraal wordt bij het passeren van een perspex blokje twee keer gebroken.



▲ **figuur 3**
Een lichtstraal loodrecht op een grensvlak verandert niet van richting.

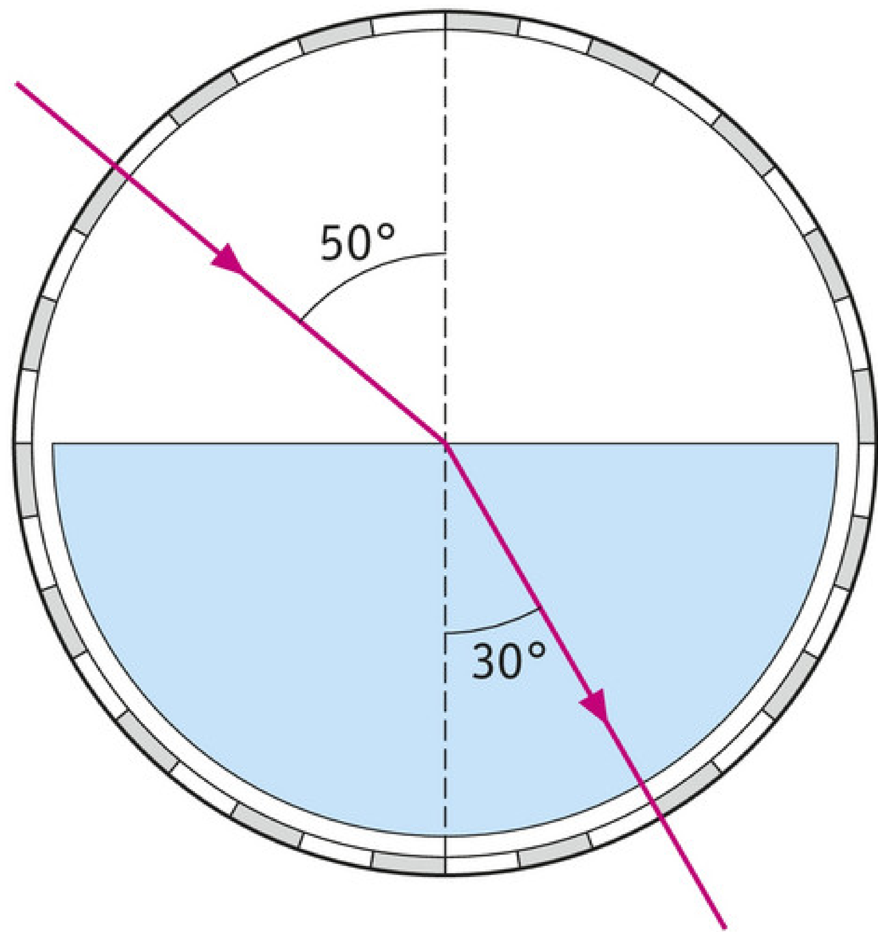
Op het grensvlak tussen lucht en water worden lichtstralen op bijna dezelfde manier gebroken als bij lucht en perspex.

Het verband tussen ∠*i* en ∠*r* Proef 2

Het verband tussen ∠*i* en ∠*r* kun je onderzoeken met een halfronde perspexschijf. In figuur 4 zie je hoe een lichtstraal door zo'n schijf wordt gebroken. De breking bij de overgang van lucht naar perspex kun je meten door de hoek van inval te veranderen en telkens ∠*i* en ∠*r* af te lezen (tabel 1). Aan de ronde kant van het perspex is ∠*i* = 0° en wordt de lichtstraal dus niet gebroken.

▼ **tabel 1** meetresultaten bij breking van lucht naar perspex

∠ *i*	∠ *r*
10°	7°
20°	13°
30°	20°
40°	25°
50°	30°
60°	35°
70°	39°
80°	41°
90°	42°

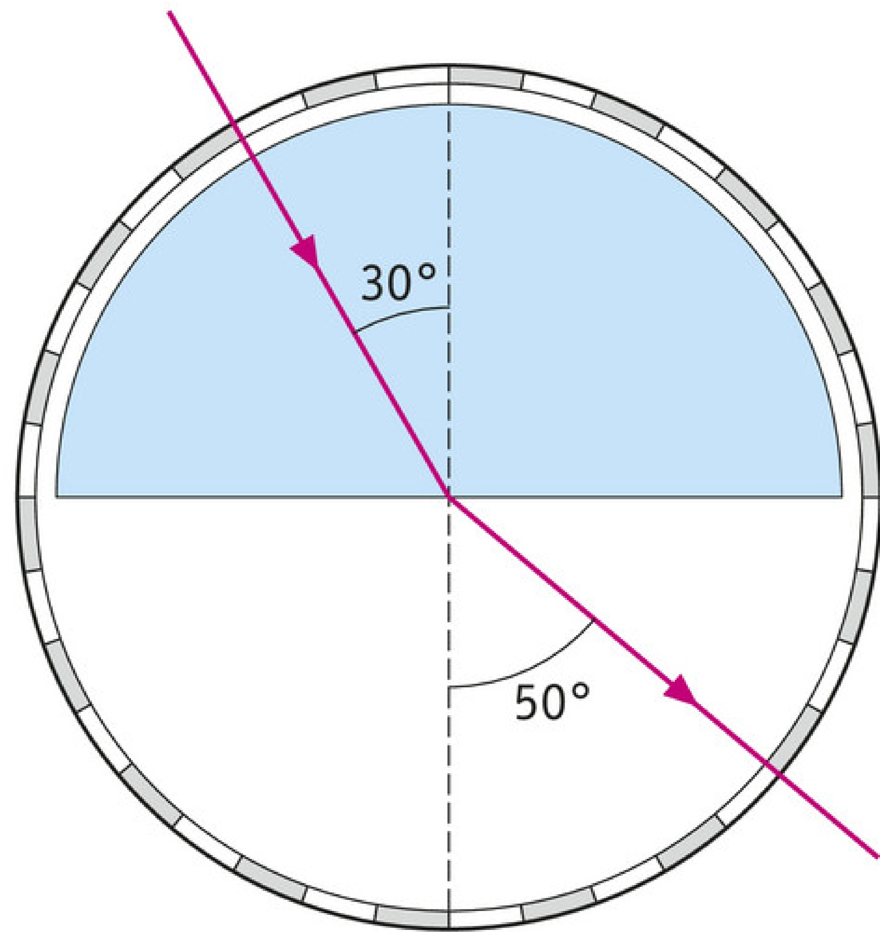


▲ **figuur 4**
Zo meet je ∠*i* en ∠*r* bij de breking van lucht naar perspex.

Je kunt de lichtstraal ook eerst op de ronde kant van de perspex schijf laten vallen (figuur 5). Dan meet je de breking bij de overgang van perspex naar lucht. Het resultaat van de metingen zie je in tabel 2. Let erop dat de waarden van ∠*i* en ∠*r* in de tabel 'omgewisseld' lijken te zijn. Er is een belangrijk verschil: in tabel 2 stopt de rij meetresultaten bij ∠*i* = 42°. De hoek van breking is dan 90°.

▼ **tabel 2** meetresultaten bij breking van perspex naar lucht

∠ *i*	∠ *r*
5°	7,5°
10°	15°
15°	23°
20°	30°
25°	40°
30°	50°
35°	60°
40°	74°
42°	90°
45°	--
enzovoort	--

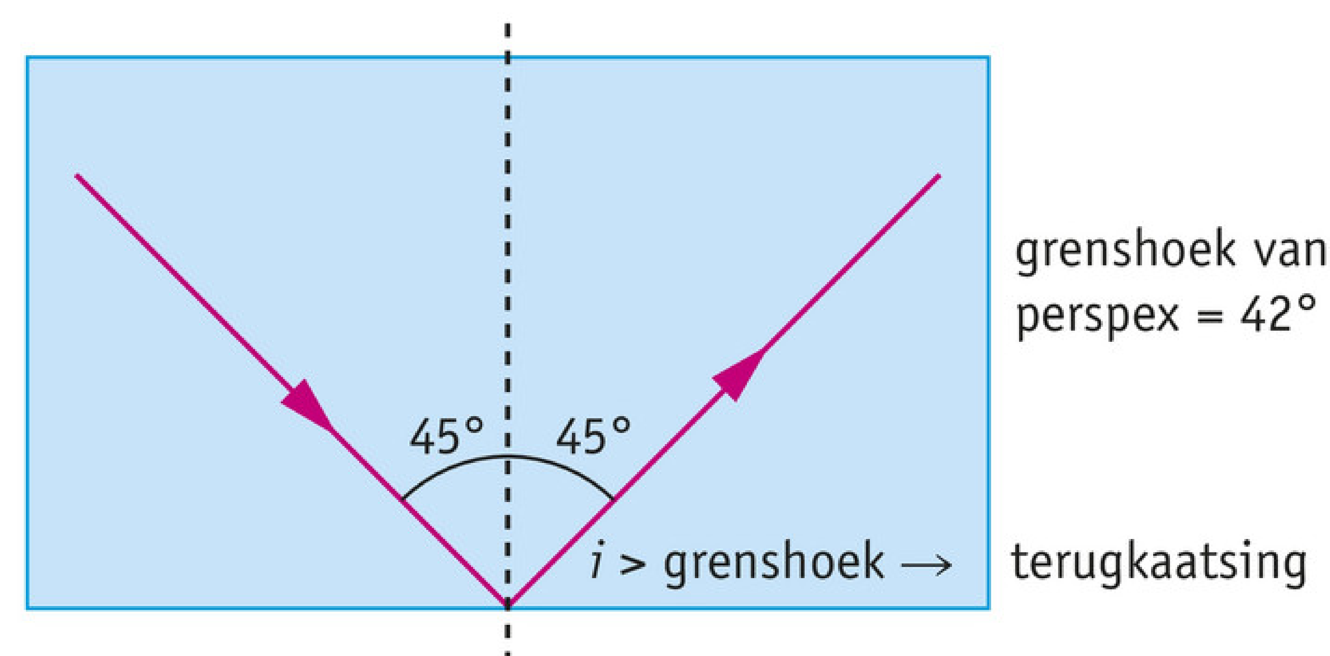


▲ **figuur 5**
Zo meet je ∠*i* en ∠*r* bij de breking van perspex naar lucht.

Maak je de hoek van inval groter dan 42°, dan wordt de lichtstraal niet meer gebroken maar volledig teruggekaatst (figuur 6). In dat geval geldt de **spiegelwet**:

$\angle i = \angle t$

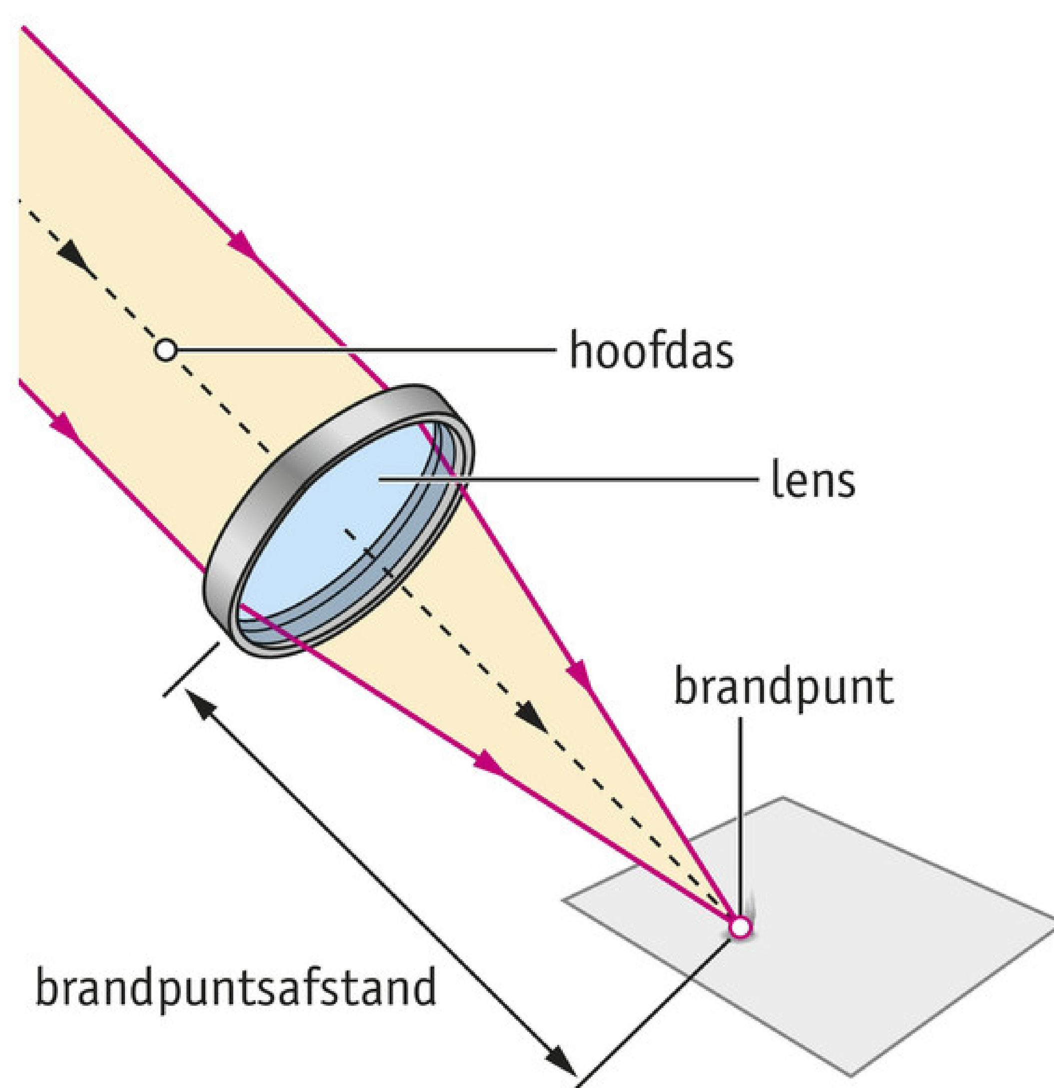
De hoek van inval waarbij de hoek van breking gelijk is aan 90°, heet de **grenshoek**. Als de hoek van inval kleiner is dan of gelijk is aan de grenshoek, dan wordt de lichtstraal gebroken. Als de hoek van inval groter is dan de grenshoek, dan wordt die lichtstraal aan het grensvlak teruggekaatst en gaat terug het glas in.



▶ **figuur 6**
Soms wordt een lichtstraal niet gebroken, maar teruggekaatst.

Lichtbreking bij een lens Proef 3

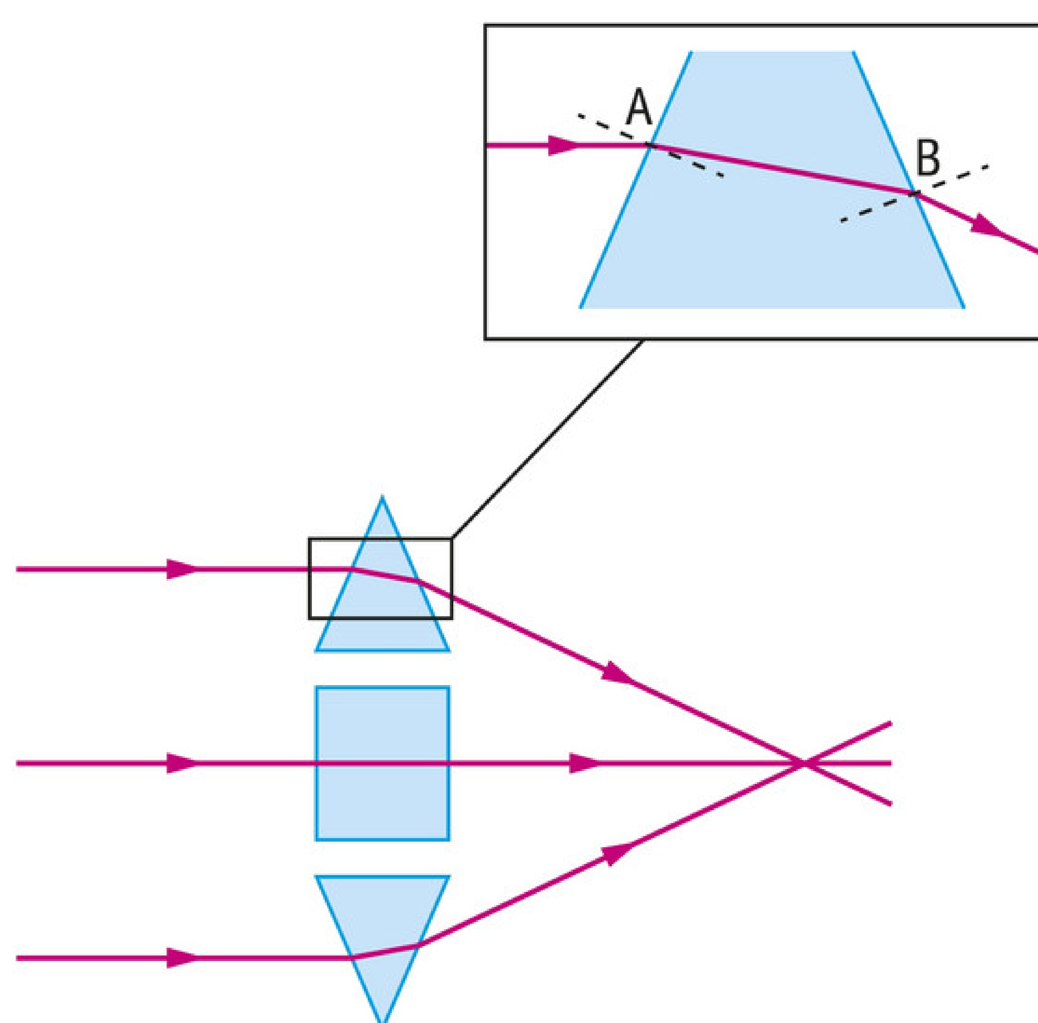
In figuur 7 zie je hoe je met een **lens** een evenwijdige bundel zonlicht kunt concentreren in één punt. Vóór de lens lopen de lichtstralen evenwijdig aan de **hoofdas**. Dat is de lijn die door het midden van de lens loopt, loodrecht op de lens. Na de lens bewegen de lichtstralen naar elkaar toe en komen samen in één punt: het **brandpunt**.



▲ **figuur 7**
Bij elke lens hoort een brandpunt.

Het brandpunt wordt aangegeven met de letter F (van *focus*, het Latijnse woord voor 'haard, vuur, gloed'). De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt F heet de **brandpuntsafstand** *f*. De brandpuntsafstand is een belangrijke eigenschap van een lens. Hoe kleiner de brandpuntsafstand, des te sterker breekt de lens het licht.

In figuur 8 is een lens vereenvoudigd tot twee prisma's (driehoekige stukken glas) en één rechthoek. De prisma's breken een lichtstraal twee keer: de eerste keer (bij A) naar de normaal toe, de tweede keer (bij B) bij de normaal vandaan. Daardoor wordt de lichtstraal naar de hoofdas toe afgebogen. De lichtstraal die op het middelste deel van de 'lens' valt, gaat rechtdoor. Verderop komen de drie getekende lichtstralen samen in het brandpunt.



◀ **figuur 8**
de lichtbreking door een lens (vereenvoudigd)

Plus Wet van Snellius

Als je de hoeken ∠*i* en ∠*r* uit tabel 1 (bladzijde 105) tegen elkaar uitzet in een diagram, is de grafiek geen rechte lijn door de oorsprong. Er is dus geen recht evenredig verband tussen ∠*i* en ∠*r*. Er blijkt wel een recht evenredig verband te zijn tussen sin *i* en sin *r*. Voor breking naar de normaal toe geldt dus:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

waarbij *n* een constante is.

Dit verband is in de zestiende eeuw ontdekt door de Nederlander Willebrord Snellius en heet daarom de **brekingswet van Snellius**. Het getal *n* is de **brekingsindex**. Elke doorzichtige stof heeft een eigen brekingsindex (tabel 3). Hoe groter de brekingsindex, hoe sterker het licht wordt gebroken.

▼ **tabel 3** de brekingsindex van enkele stoffen

stof	brekingsindex *n*
alcohol	1,4
diamant	2,4
glas	1,5
ijs	1,3
perspex	1,5
water	1,3

Voorbeeldopgave 1

Een lichtstraal valt onder een hoek van 40° op een stuk glas (figuur 9). Bereken de hoek van breking.

gegevens ∠*i* = 40°
n = 1,5

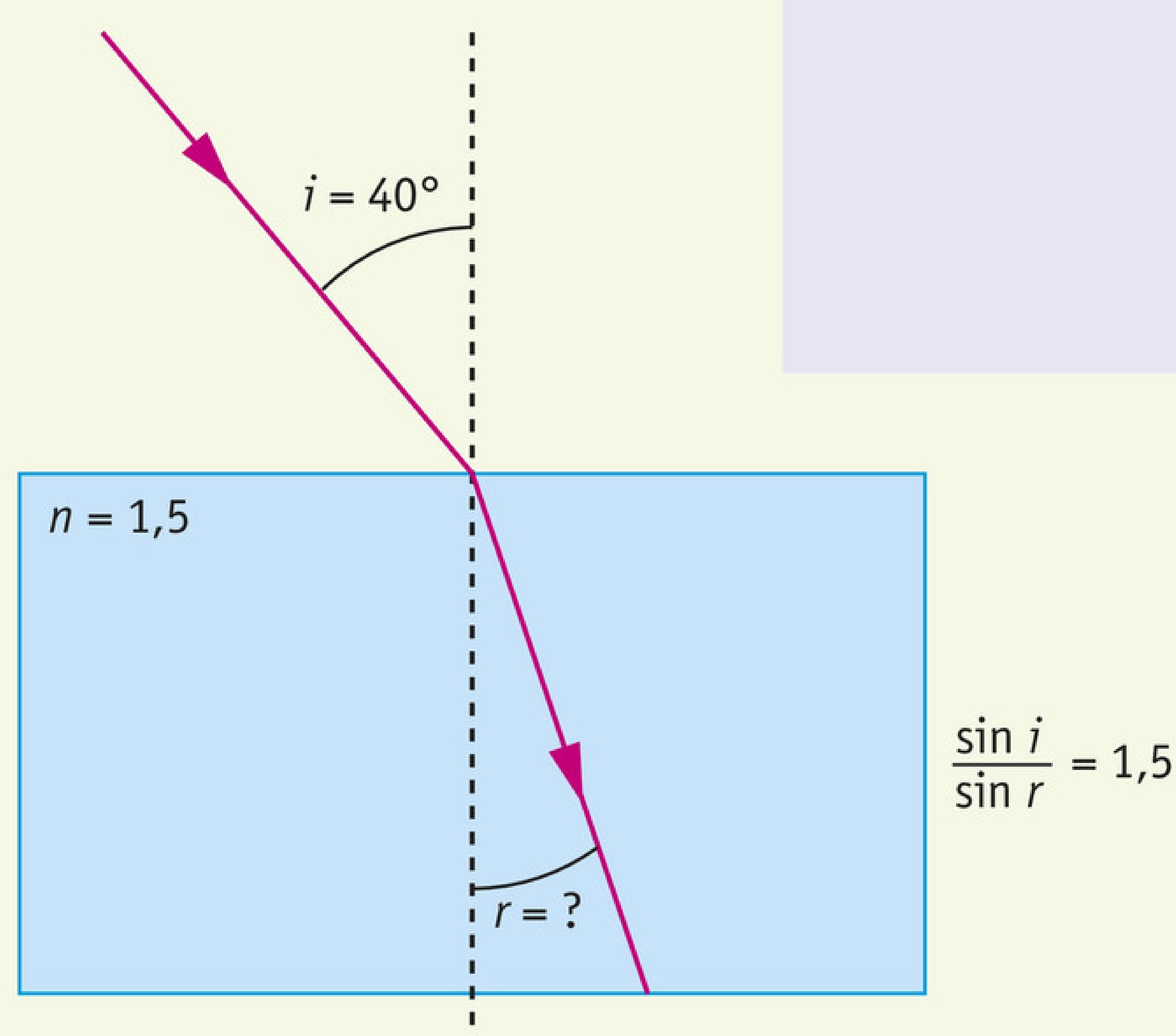
gevraagd ∠*r* = ?

uitwerking Uit de brekingswet volgt:

$$\frac{\sin 40°}{\sin r} = 1{,}5$$

$\sin 40° = 1{,}5 \cdot \sin r$
$\sin r = \sin 40° : 1{,}5 = 0{,}642... : 1{,}5 = 0{,}428...$

Met de toets voor de inverse van sinus op je rekenmachine vind je ∠*r* = 25°.

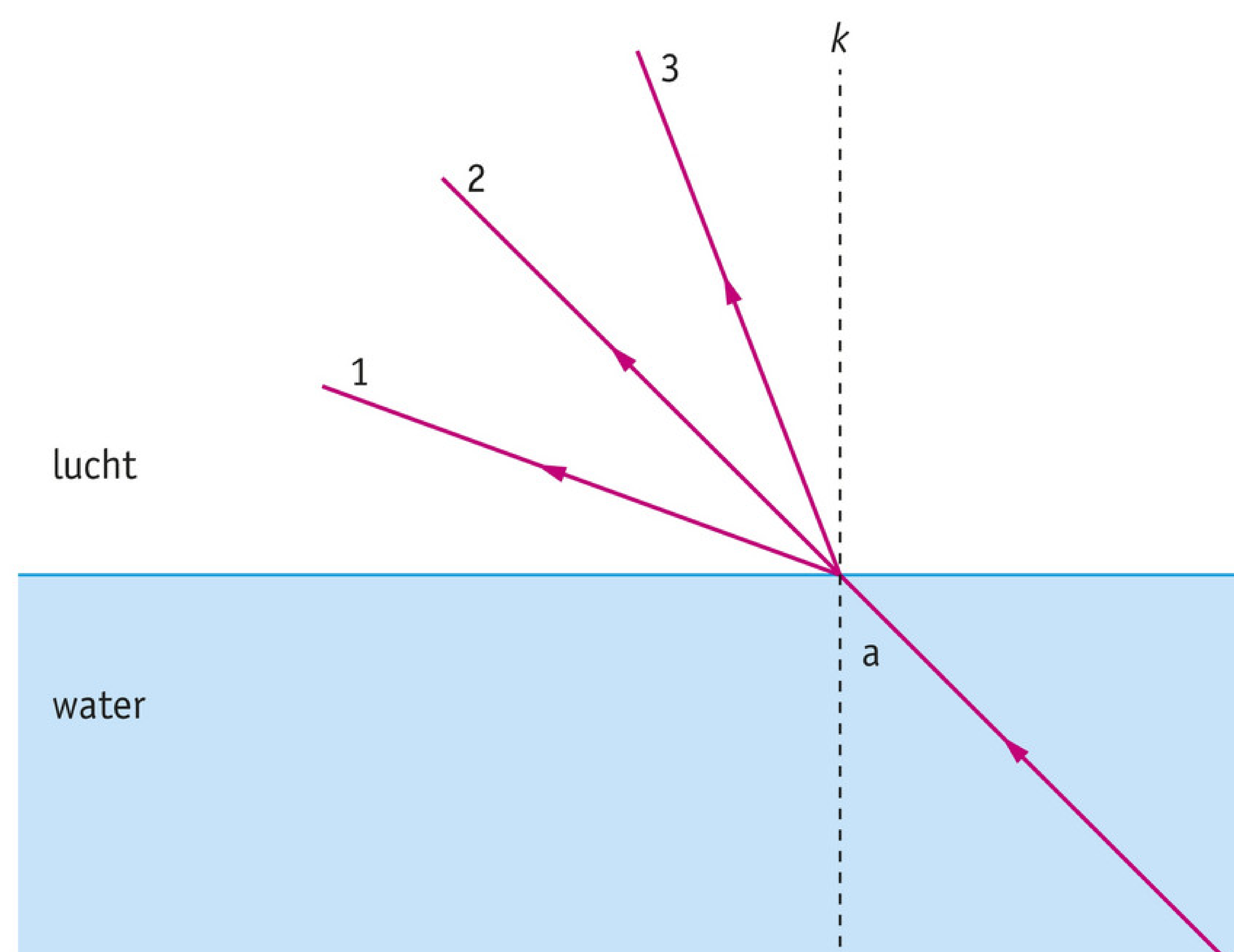


◀ **figuur 9** Met de brekingswet van Snellius kun je uitrekenen hoe de lichtstraal verdergaat.

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat wordt bedoeld met de 'normaal' op het grensvlak tussen twee stoffen?
- **b** Hoe wordt een lichtstraal gebroken als hij van lucht naar perspex gaat?
- **c** Hoe wordt een lichtstraal gebroken als hij van perspex naar lucht gaat?

2 In figuur 10 gaat een lichtstraal van water naar lucht.
- **a** Hoe heet de stippellijn *k*?
- **b** Hoe heet de hoek a?
- **c** Leg uit welke lichtstraal (1, 2 of 3) correct is getekend.

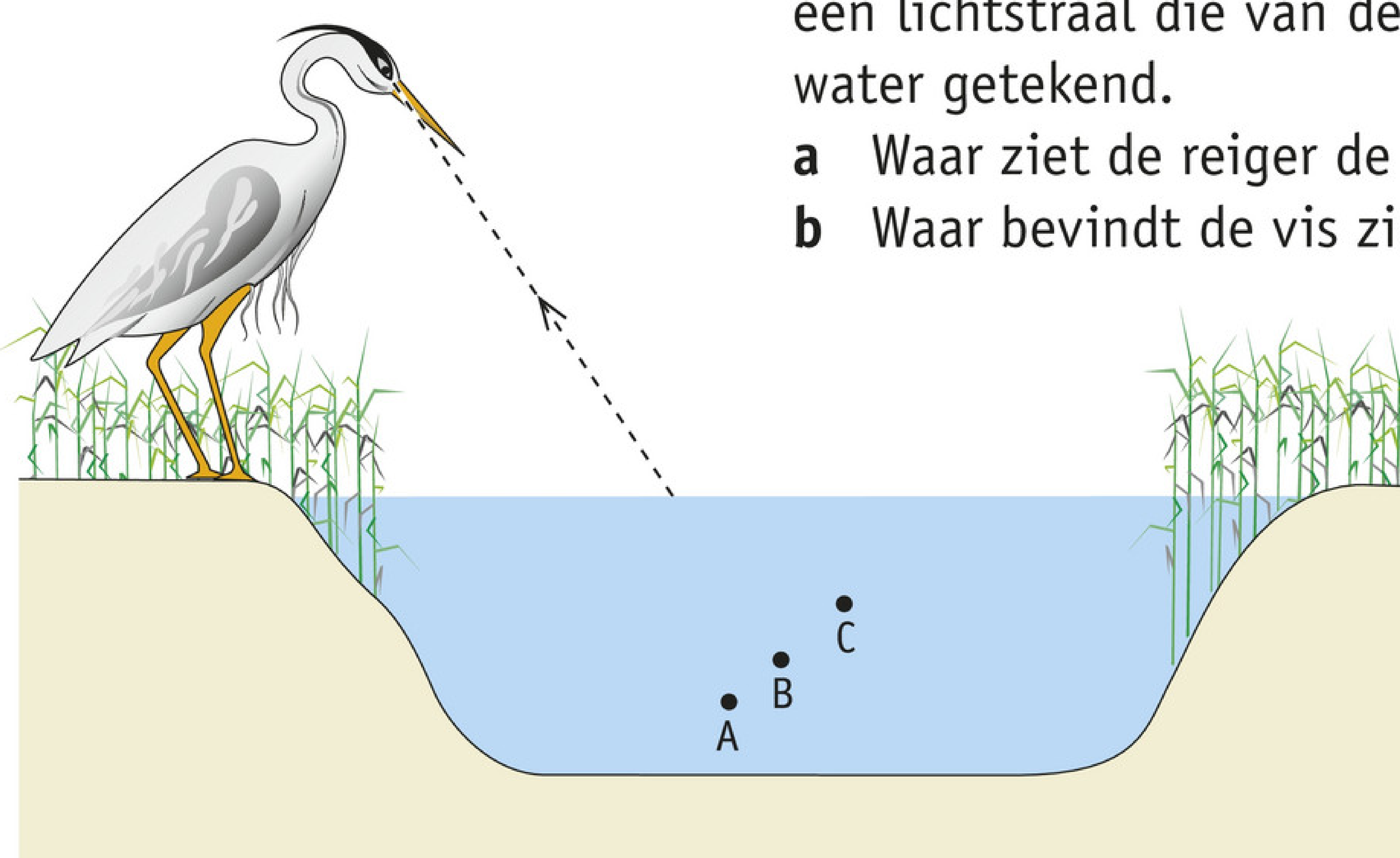


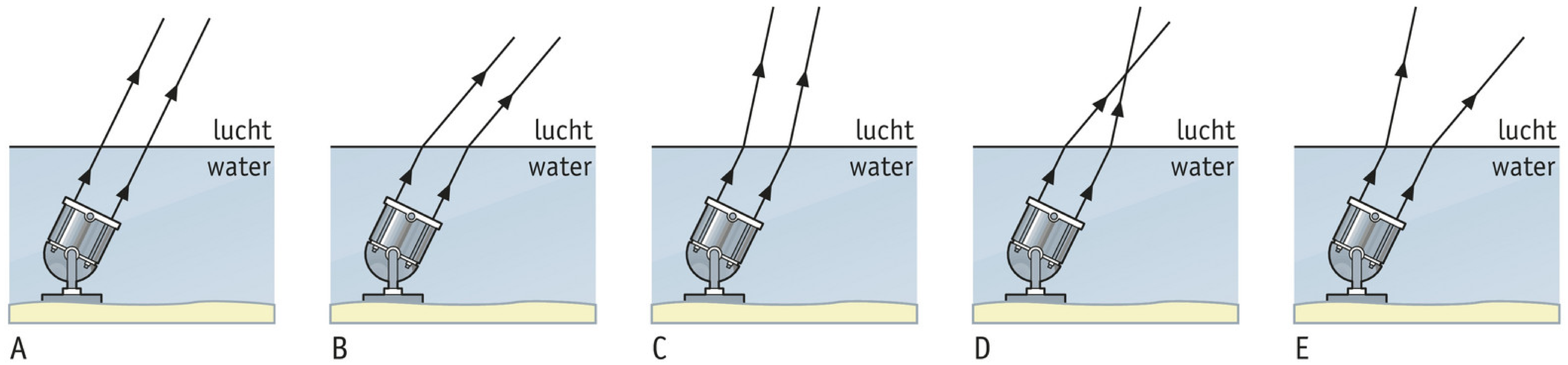
▶ figuur 10
breking bij de overgang van water naar lucht

3 Bij deze opgave heb je werkblad 3-1 nodig.
Je ziet hoe twee lichtstralen op een glazen ruit vallen. Schets op het werkblad:
- **a** hoe lichtstraal 1 door de ruit heen beweegt.
- **b** hoe lichtstraal 2 wordt gebroken als hij op de ruit valt en als hij de ruit weer verlaat.

4 Een reiger kijkt naar een vis die in het water zwemt (figuur 11). Van een lichtstraal die van de vis afkomstig is, is slechts het gedeelte boven water getekend.
- **a** Waar ziet de reiger de vis: bij A, B of C?
- **b** Waar bevindt de vis zich: bij A, B of C?

▼ figuur 11
Wat ziet de reiger?





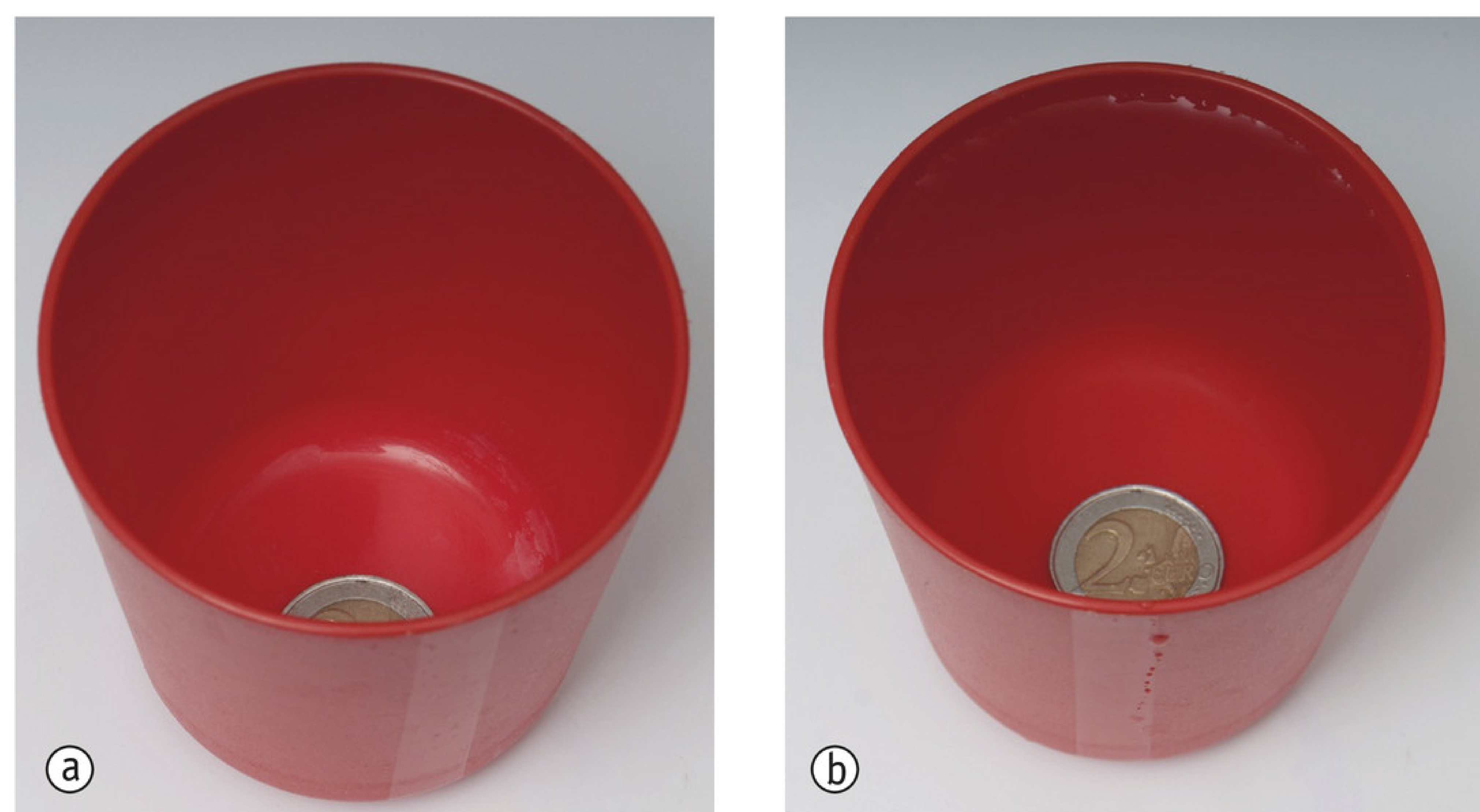
▲ **figuur 12**
een schijnwerper in een vijver

5 Onder water is een schijnwerper aangebracht.
Welke van de vijf tekeningen in figuur 12 geeft de juiste stralengang weer?

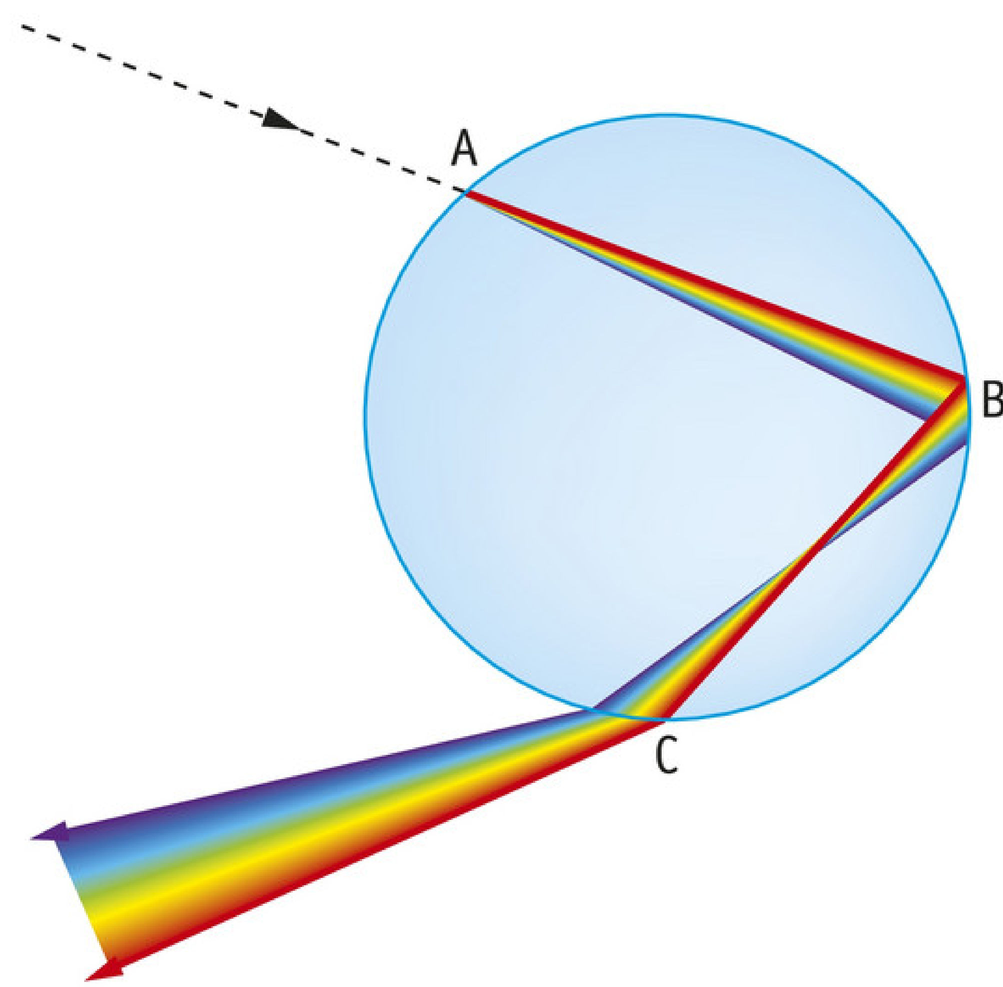
***6** Bij deze opgave heb je werkblad 3-2 nodig.
Op een glazen voorwerp valt een lichtstraal. De lichtstraal beweegt door het voorwerp heen en komt aan de andere kant weer tevoorschijn.
Schets in de tekening op het werkblad:
- **a** hoe het voorwerp eruitziet dat het licht breekt.
- **b** hoe de lichtstraal door dat voorwerp heen beweegt.

7 Bij deze opgave heb je werkblad 3-3 nodig.
Een evenwijdige lichtbundel valt op de lens van een vergrootglas.
- **a** Leg uit hoe het komt dat lichtstraal 3 niet van richting verandert.
- **b** Schets op het werkblad hoe de vier lichtstralen verder lopen.

8 Karen legt een munt in een bakje. Ze schuift het bakje bij zich vandaan tot ze het muntje net niet meer ziet (figuur 13a). Als ze het kommetje met water vult, ziet ze het muntje weer tevoorschijn komen (figuur 13b). Leg met behulp van een tekening uit waardoor Karen het muntje weer kan zien.



▶ **figuur 13**
een muntje in een bakje



▲ **figuur 14**
Zo ontstaat een regenboog.

***9** Om een regenboog te zien, is zon en regen nodig. In figuur 14 zie je een bolletje waar zonlicht op valt (stippellijn). De tekening hoort bij een uitleg over het ontstaan van een regenboog.

- **a** Wat stelt het bolletje voor?
- **b** Hoe loopt de normaal in het punt waar de lichtstraal op het bolletje valt?
- **c** Leg uit hoe je aan deze tekening kunt zien dat elke kleur een eigen waarde van de brekingsindex heeft.
- **d** Welke kleur heeft de grootste brekingsindex?
- **e** Neem de tekening over en geef in de punten A, B en C aan wat er gebeurt met het zonlicht.
- **f** Teken drie dingen erbij in je tekening: de zon, de regen en de positie van de persoon die de regenboog ziet.

***10** Bij deze opgave heb je werkblad 3-4 nodig.
Op een driehoekig stuk glas valt een lichtstraal. De grenshoek van glas is 42°.

- **a** Beredeneer hoe de lichtstraal in de situaties A en B verder gaat tot hij weer het glas uit komt. Teken daarna het verloop van de lichtstraal op het werkblad. Je hoeft niet te rekenen maar je moet wel meten en tekenen met je geodriehoek.
- **b** In situatie C loopt de lichtstraal bij het verlaten van het glas in het verlengde van de invallende lichtstraal.
  Teken op het werkblad het verloop van de lichtstraal.
- **c** Controleer of het verloop van de lichtstraal bij C klopt met wat je weet over de grenshoek.

Plus Wet van Snellius

11 Een lichtstraal valt onder een hoek van 45° op een diamant.

- **a** Leg uit hoe je kunt bepalen of de breking bij diamant sterker of minder sterk is dan die bij glas.
- **b** Bereken de hoek van breking.

***12** Vervolg van opgave 9. Bij deze opgave heb je werkblad 3-5 nodig.
Een regenboog ontstaat doordat wit licht van de zon op regendruppeltjes valt. Voor water is de brekingsindex bij rood licht 1,33 en bij violet licht 1,34. De verschillende kleuren worden daardoor elk op een iets andere manier gebroken.
Op het werkblad zie je een ronde regendruppel waarop een lichtstraal valt.

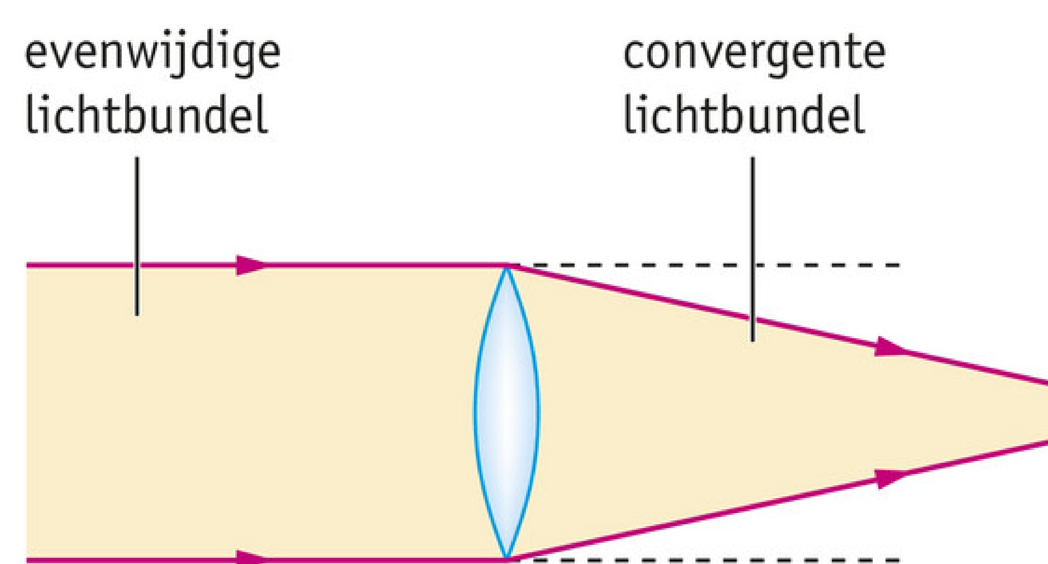
- **a** Hoe kun je eenvoudig de normaal tekenen in het punt waar de straal op de druppel valt?
- **b** Bereken en teken hoe een rode lichtstraal bij het binnengaan van de druppel wordt gebroken.
- **c** Doe hetzelfde voor een violette lichtstraal.

13 Van een bepaalde kunststof is de grenshoek gelijk aan 48°.

- **a** Zie je die grenshoek bij de overgang van lucht naar kunststof of bij de overgang van kunststof naar lucht?
- **b** Hoe groot is de hoek van breking als de hoek van inval gelijk is aan de grenshoek?
- **c** Bereken de brekingsindex van die stof.

2 Lenzen

Lenzen kom je in allerlei apparaten tegen, zoals camera's, verrekijkers, beamers en smartphones. Lenzen zitten ook in brillen en in ogen. Dankzij lenzen kun je de wereld om je heen scherp zien en kun je beelden van die wereld vastleggen in foto's en filmpjes. De lens dankt zijn naam aan zijn vorm: 'lens' komt van het Latijnse woord *linze*, een soort platte erwt.

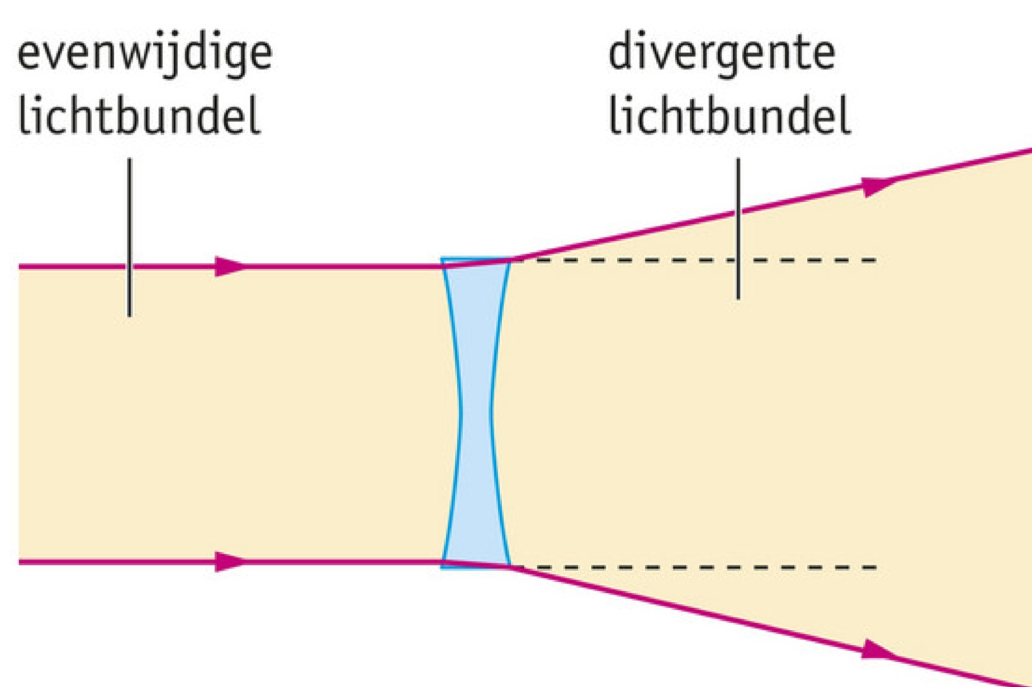


▲ **figuur 15**
convergerende werking bij een bolle lens

Positieve en negatieve lenzen

Positieve of bolle lenzen zijn in het midden dikker dan aan de rand. Een **positieve lens** maakt van een evenwijdige bundel licht een **convergente** bundel. De lens buigt de lichtstralen naar de hoofdas toe (figuur 15) en werkt dus **convergerend** (van het Latijnse *com* = 'samen' en *vergere* = 'neigen'). Hoe boller de lens, des te sterker is de convergerende werking.

Negatieve of holle lenzen zijn in het midden dunner dan aan de rand. Een **negatieve lens** buigt de lichtstralen af naar buiten en werkt **divergerend** (*dis* betekent in het Latijn 'uiteen'). Een evenwijdige bundel zonlicht voor de lens wordt een **divergente** bundel na de lens (figuur 16).



▲ **figuur 16**
divergerende werking bij een holle lens

Beelden maken met een lens Proef 4

In de bioscoop maakt de lens van de filmprojector een afbeelding van de film op het scherm. Een lens in de camera beeldt de wereld voor de lens verkleind af op een lichtgevoelige beeldchip. En de lens in je oog maakt een afbeelding op je netvlies.
Met een positieve lens kun je dus een vergroot of verkleind beeld van een voorwerp maken. Als je een foto neemt, valt er licht van het voorwerp op de lens. De lens zorgt ervoor dat het licht uit één punt L van het voorwerp ook weer in één punt B van het beeld bij elkaar komt. Die punten noem je het **voorwerpspunt** L en het **beeldpunt** B. Een foto bestaat uit miljoenen van zulke beeldpunten. Een foto is scherp als de beeldpunten heel klein zijn en elkaar niet overlappen (figuur 17). Bij een onscherpe foto is elk beeldpunt een cirkeltje en overlappen die cirkeltjes elkaar gedeeltelijk.



▶ **figuur 17**
Op een foto zijn vaak voorwerpen óf dichtbij óf ver weg scherp, maar niet allebei tegelijk.

Constructiestralen

Met een tekening op schaal kun je uitzoeken waar het beeld achter de lens ontstaat. Dat noem je: het beeld **construeren**. Je gebruikt daarvoor **constructiestralen** waarvan je precies weet hoe ze lopen. Deze stralen beginnen in een handig gekozen punt van het voorwerp (waar in werkelijkheid miljoenen lichtstralen vandaan komen):

- Constructiestraal 1 loopt vóór de lens evenwijdig aan de hoofdas en gaat na de lens door het brandpunt F.
- Constructiestraal 2 gaat door het midden van de lens en verandert dus niet van richting.

Het beeldpunt ligt dan op het snijpunt van deze twee stralen. Je kunt je constructie nauwkeuriger maken door een derde constructiestraal te tekenen:

- Constructiestraal 3 gaat vóór de lens door het brandpunt en loopt na de lens evenwijdig aan de hoofdas.

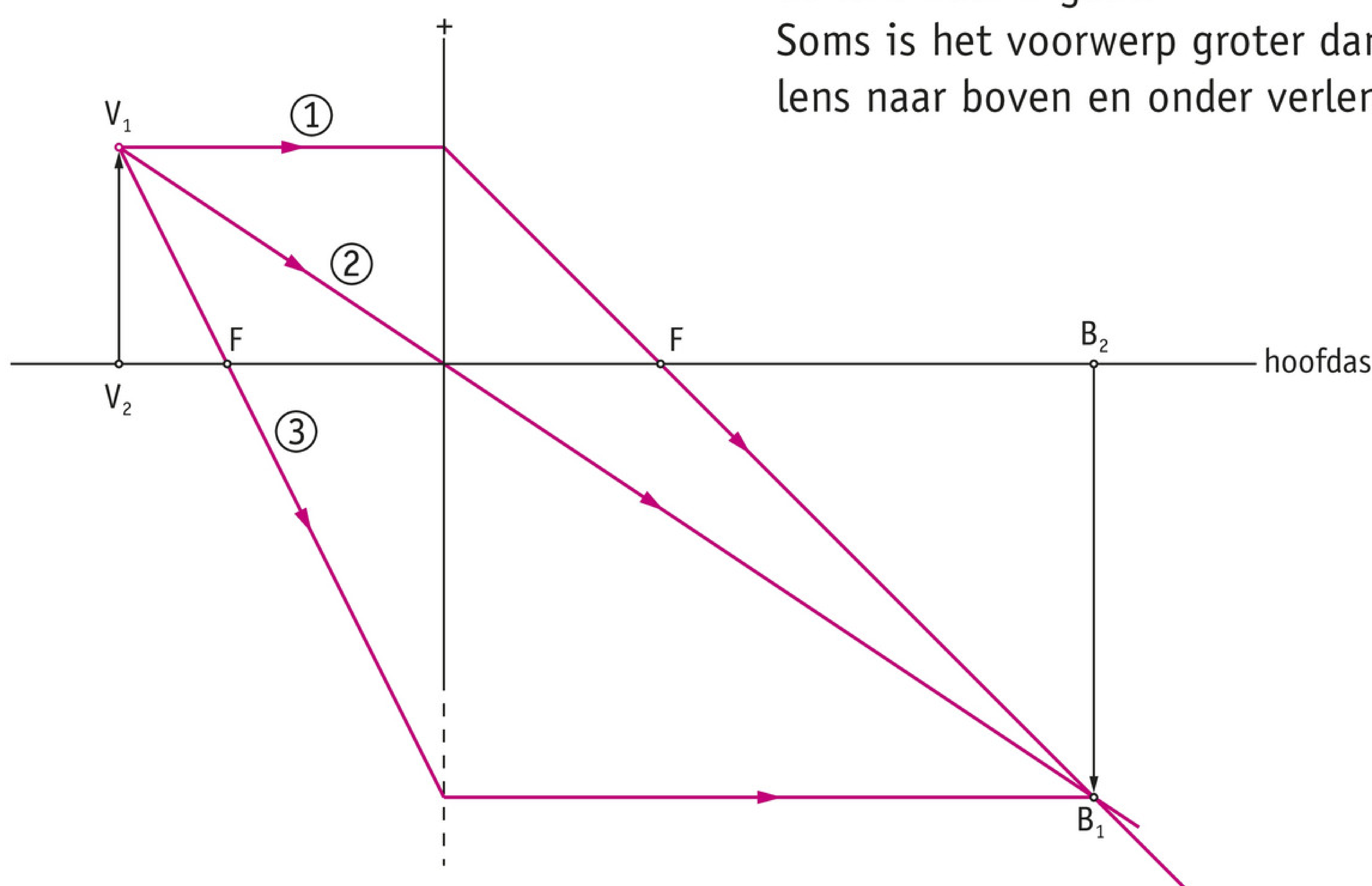
De plaats van het beeld tekenen

In figuur 18 is getekend hoe je het beeld van een voorwerp construeert:

1. Teken de hoofdas. Teken de lens als een verticale streep. Teken aan beide kanten van de lens het brandpunt op de juiste afstand en zet er de letter F bij.
2. Teken het voorwerp als een pijl V_1V_2 op de juiste afstand voor de lens. V_2 ligt op de hoofdas, V_1 daarboven.
3. Teken de drie constructiestralen vanuit V_1. Teken het beeldpunt B_1 waar de lichtstralen samenkomen.
4. Teken het beeld als een pijl B_1B_2. Dan ligt B_2 op de hoofdas en ligt B_1 daaronder. Het beeld staat dus (vergeleken met het voorwerp) ondersteboven.

Je kunt nu van elk voorwerpspunt V het bijbehorende beeldpunt B bepalen. Dan kun je dus ook van elke lichtstraal uit V tekenen hoe die via de lens naar B gaat.
Soms is het voorwerp groter dan de lens. Dan mag je in de tekening de lens naar boven en onder verlengen.

▼ **figuur 18**
Zo bepaal je het beeld.

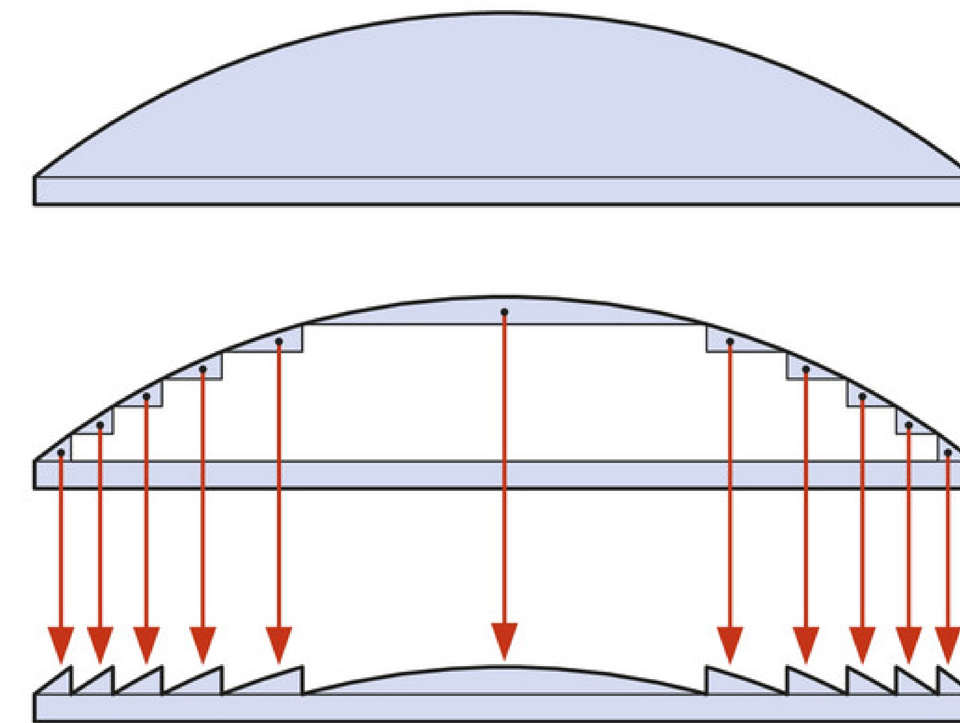


Fresnellenzen

In een vuurtoren wordt een grote positieve lens gebruikt om het licht van een felle lamp te bundelen. Zo'n lens wordt niet uit één stuk glas geslepen, want dan zou hij veel te zwaar worden. In plaats daarvan wordt een lens gebruikt die is opgebouwd uit ringen van glas (figuur 19). Elke ring is dan een stukje van een positieve lens (figuur 20). Zo'n uit ringen opgebouwde lens is vernoemd naar een Franse natuurkundige en heet fresnellens (de s spreek je niet uit en de klemtoon ligt op de tweede lettergreep).



▲ **figuur 19**
fresnellenzen in een vuurtoren



▲ **figuur 20**
Een fresnellens bestaat uit stukjes van een bolle lens.

Fresnellenzen breken het licht vrijwel net zo als een gewone lens. Mooie beelden kun je er niet mee maken, maar ze zijn wel heel geschikt om licht te bundelen. Je komt ze ook tegen in spotlights voor filmopnamen en als leesloep voor oudere mensen.

Plus Reële en virtuele beelden



▲ **figuur 21**
Door een loep zie je een virtueel beeld.

In een beamer zit een bolle lens. De lamp van de beamer belicht een tekening of een foto op een klein display binnen in de beamer. Dat is het voorwerp. De bolle lens beeldt dat voorwerp af op een wit scherm, bijvoorbeeld dat van een digibord. Het beeld kun je 'vastleggen', je zou het kunnen overtrekken op het scherm. Zo'n beeld noem je een **reëel beeld**. Bij een reëel beeld staat het voorwerp aan de ene kant van de lens en het beeld aan de andere kant. Je krijgt een reëel beeld als je het voorwerp verder weg staat dan het brandpunt (figuur 18).

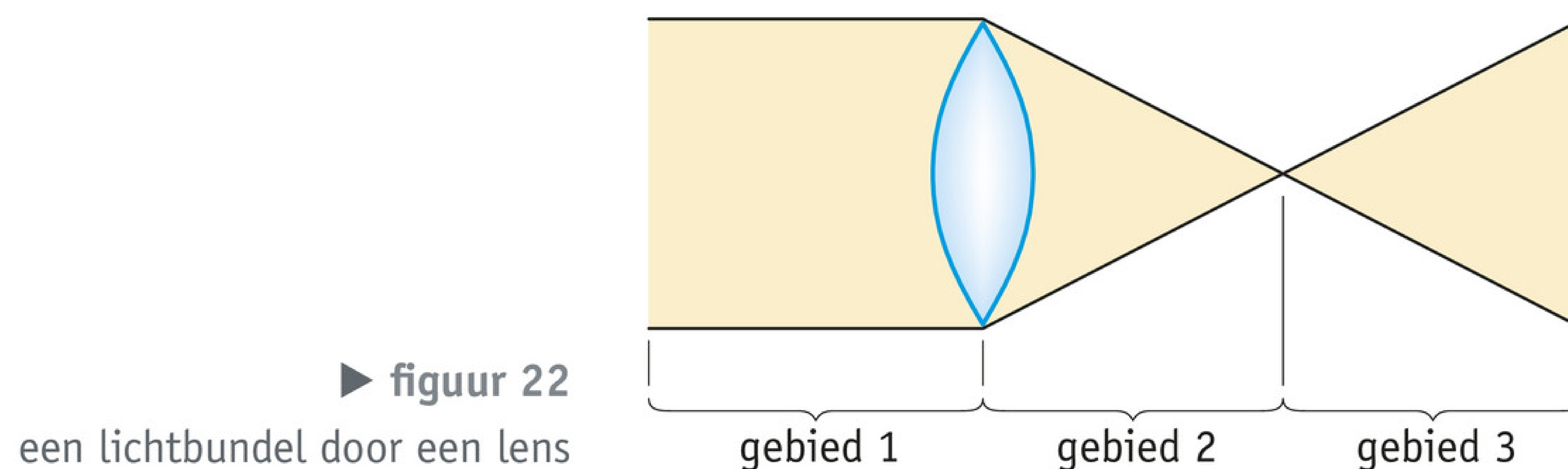
Je kunt een positieve lens ook als loep gebruiken (figuur 21). Je kijkt dan door de lens naar het voorwerp. Het beeld is groter dan het voorwerp en staat niet ondersteboven. Je kunt dit beeld wel bekijken, maar niet afbeelden op een projectiescherm en daarom noem je dit een **virtueel beeld**. Bij een virtueel beeld lijkt het beeld aan dezelfde kant van de lens te zitten als het voorwerp. Het voorwerp staat dan tussen het brandpunt en de lens. Ook een virtueel beeld kun je construeren met behulp van constructiestralen.

opgaven

14 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe kun je aan een lens zien of hij positief of negatief is?
- **b** Hoe wordt een evenwijdige bundel zonlicht gebroken door een positieve lens?
- **c** Noem een voor- en een nadeel van een fresnellens.

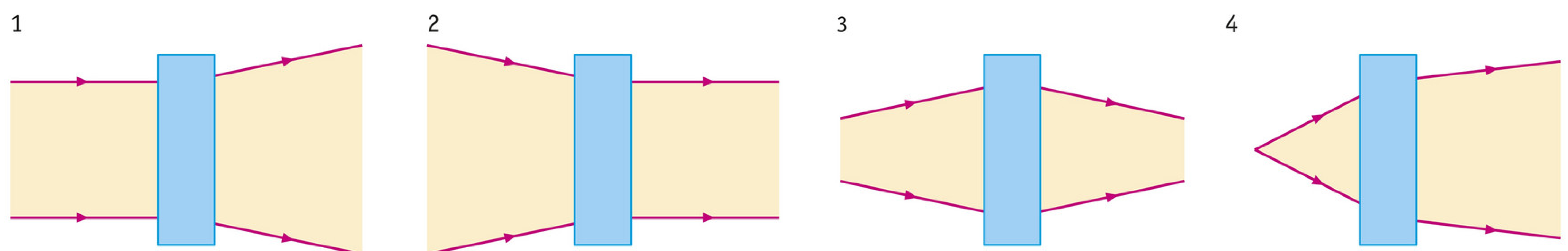
15 Joyce laat het zonlicht door een brillenglas op een blaadje papier vallen.
- **a** Wat zal Joyce zien op het papier als het brillenglas positief is?
- **b** En wat ziet ze als het brillenglas negatief is?
- **c** Wat moet Joyce doen om het papier in brand te steken?
- **d** Waarom zal het papier eerder in brand vliegen als het zwart is?

16 Neem aan dat het licht in figuur 22 van links komt.
- **a** Geef de namen van de lichtbundels in gebied 1, 2 en 3.
- **b** Beantwoord dezelfde vraag als het licht van rechts komt.



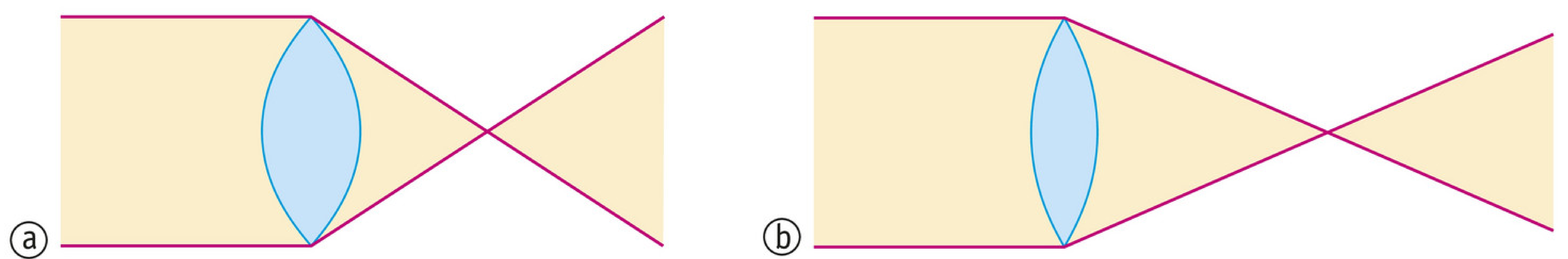
▶ **figuur 22**
een lichtbundel door een lens

17 In elk van de vier doosjes in figuur 23 zit een lens.
Leg bij elk doosje uit of de lens positief of negatief is.



▲ **figuur 23**
Wat voor lens zit er in elk doosje?

18 In figuur 24 zijn twee lenzen in doorsnede getekend.
- **a** Welke lens is het sterkst?
- **b** De schaal van de tekening is 1 : 2.
  Bepaal de brandpuntsafstand van elke lens.



▲ **figuur 24**
Welke lens is sterker?

19 Bij deze opgave heb je werkblad 3-6 nodig.
Voor een lens staat een lampje. Je ziet vier lichtstralen die op de lens vallen.

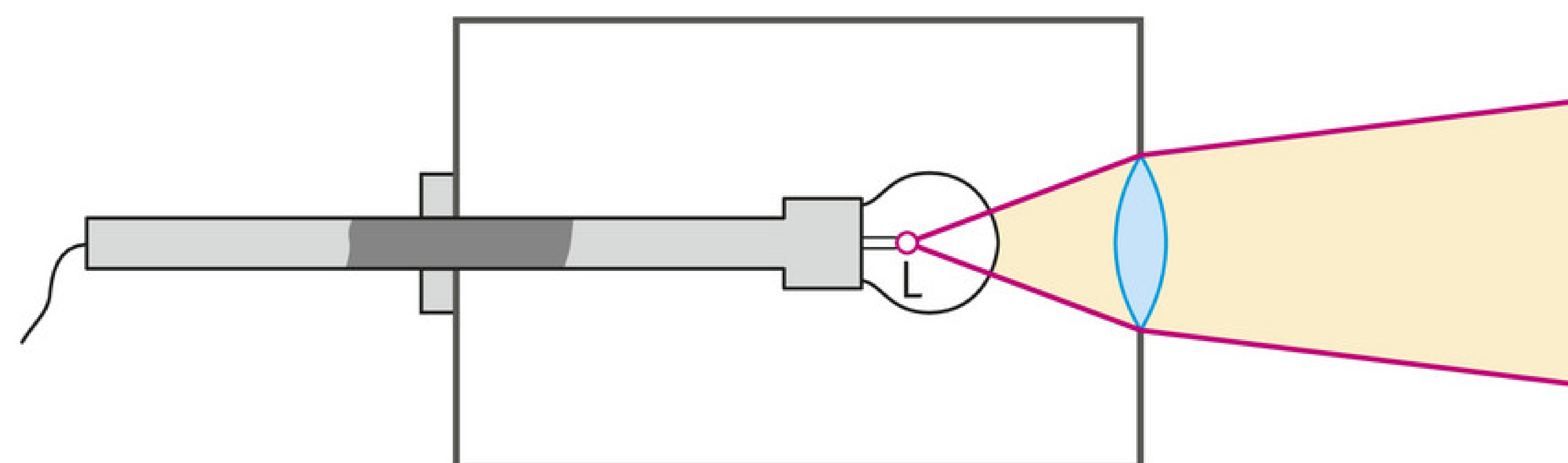
- **a** Welke twee lichtstralen op het werkblad zijn constructiestralen?
- **b** Teken hoe de constructiestralen na de lens verder lopen.
- **c** Teken hoe de andere twee lichtstralen worden gebroken.

20 Bij deze opgave heb je werkblad 3-7 nodig.
Abdul heeft bij een practicum een dia in een lichtkastje gezet. Op de dia is een pijl te zien. Abdul zet het lichtkastje steeds dichter bij een positieve lens.

- **a** Construeer (teken) met de drie constructiestralen de plaats van het beeld B_1B_2 in elk van de drie tekeningen.
- **b** Hoe verandert het beeld als het voorwerp naar de lens toe wordt geschoven?
- **c** Onderzoek of er een recht evenredig verband is tussen de afstand van het voorwerp tot de lens en de grootte van het beeld.

***21** Tijdens een natuurkundepracticum werkt Livia met een lichtkastje (figuur 25). In het kastje zit een positieve lens (f = 8,0 cm).

- **a** Hoe heet de lichtbundel die uit het lichtkastje komt?
- **b** Leg uit of Livia de lamp naar links of naar rechts moet schuiven om een evenwijdige bundel te krijgen.
- **c** Tot op welke afstand van de lens moet ze de lamp dan verschuiven?



▶ **figuur 25**
een lichtkastje voor een natuurkundeproef

***22** In figuur 26 zie je een meisje met een bril.
Heeft de bril positieve of negatieve lenzen? Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen en maak daarbij een schets.
Tip: kijk naar de lijn van haar gezicht in het rechter brillenglas.

23 Je maakt met een grote lens een beeld van een kaarsvlam op een muur. Dan vervang je de grote lens door een klein lensje met een even grote brandpuntsafstand.

- **a** Verandert daardoor de plaats van het beeld? Zo ja, hoe dan?
- **b** Verandert daardoor de grootte van het beeld? Zo ja, hoe dan?
- **c** Verandert daardoor de lichtsterkte van het beeld? Zo ja, hoe dan?



◀ **figuur 26**
positieve of negatieve lenzen?

24 In figuur 27 zie je een positieve en een negatieve fresnellens die op een ruit geplakt zijn.

a Beredeneer welke lens in de figuur de positieve lens is.

b Deze lenzen zie je ook wel op de achterruit van bestelbusjes. Waarvoor zijn deze lenzen daar nuttig?



▶ **figuur 27**
twee verschillende fresnellenzen

Plus Reële en virtuele beelden

25 Er zijn twee soorten beelden.

a Noem twee verschillen tussen een virtueel en een reëel beeld.

b Zie je een reëel of virtueel beeld als je door een microscoop kijkt?

26 Neem een leeg A4'tje en teken een hoofdas in de lengterichting. Teken in het midden een positieve lens. Zet brandpunten op 3 cm van de lens. Teken het voorwerp als een verticale pijl van 1,5 cm op 2 cm links van de lens.

a Teken de drie constructiestralen.

b Waarom lukt het niet om daarmee een beeld aan de rechterkant van de lens te tekenen?

c Het beeld is hier virtueel en ligt aan dezelfde kant van de lens als het voorwerp.
Bedenk hoe je met de constructiestralen die je al hebt getekend, het virtuele beeld kunt construeren en laat dit zien in je tekening.

d Bereken de vergroting.

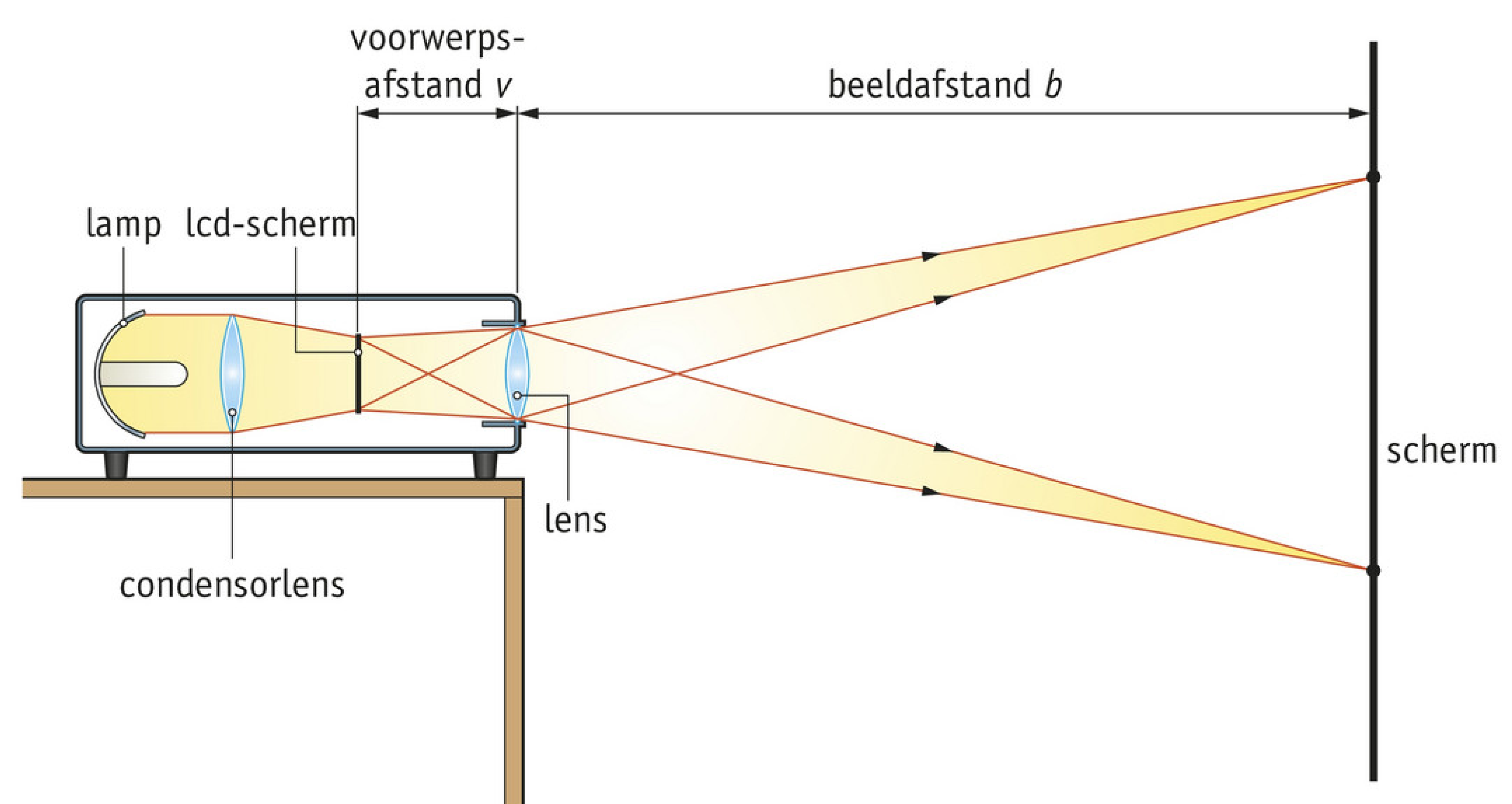
3 Camera's en projectoren

Met lenzen kun je beelden maken van voorwerpen. Met een camera kun je die beelden vastleggen. Met een beamer kun je vastgelegde beelden vergroot projecteren. Scherpstellen is in beide gevallen belangrijk.

Scherpstellen

Een camera en een beamer gebruiken een positieve lens om een scherp beeld te maken van een voorwerp. Bij een camera is het voorwerp de scène die je fotografeert. Bij een beamer is het voorwerp een lcd-schermpje.
Om een goede foto te maken, moet je eerst **scherpstellen**. Bij een camera gebeurt dat door de afstand tussen de lens en de beeldchip te verstellen. Moderne camera's doen dat automatisch.

Bij een beamer zijn er twee manieren om het beeld scherp te stellen. Je kunt het scherm verschuiven totdat de lichtstralen vanuit één punt van het voorwerp weer in één punt van het beeld samenkomen (figuur 28). Je kunt ook het scherm laten staan en, net als bij een camera, de afstand tussen het lcd-schermpje en de lens aanpassen.



▶ figuur 28
de stralengang door een beamer

De lenzenformule Proef 5

Bij het scherpstellen van een camera of een beamer zijn drie afstanden van belang:
- de afstand tussen de lens en het voorwerp; dit is de **voorwerpsafstand** *v*;
- de afstand tussen de lens en het scherpe beeld; dit is de **beeldafstand** *b*;
- de afstand van de lens tot het brandpunt; dit is de **brandpuntsafstand** *f*.

Je kunt het verband tussen *b*, *v* en *f* onderzoeken met de opstelling van figuur 29. De rails waarop alles staat, noem je een **optische bank**. Bij elke voorwerpsafstand is er maar één beeldafstand waarbij het beeld scherp is. Uit die proeven blijkt dat voor *b*, *v* en *f* de **lenzenformule** geldt:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$

Voorbeeldopgave 2

Gilles projecteert met een beamer een film op een witte muur. De lens van de beamer heeft een brandpuntsafstand van 15,0 cm. De afstand tussen de lens en de muur is 435 cm.
Bereken hoe groot Gilles de afstand tussen lcd-schermpje en projectielens moet maken.

gegevens $f = 15{,}0$ cm
$b = 435$ cm

gevraagd $v = ?$

uitwerking

1 Formule opschrijven: $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$

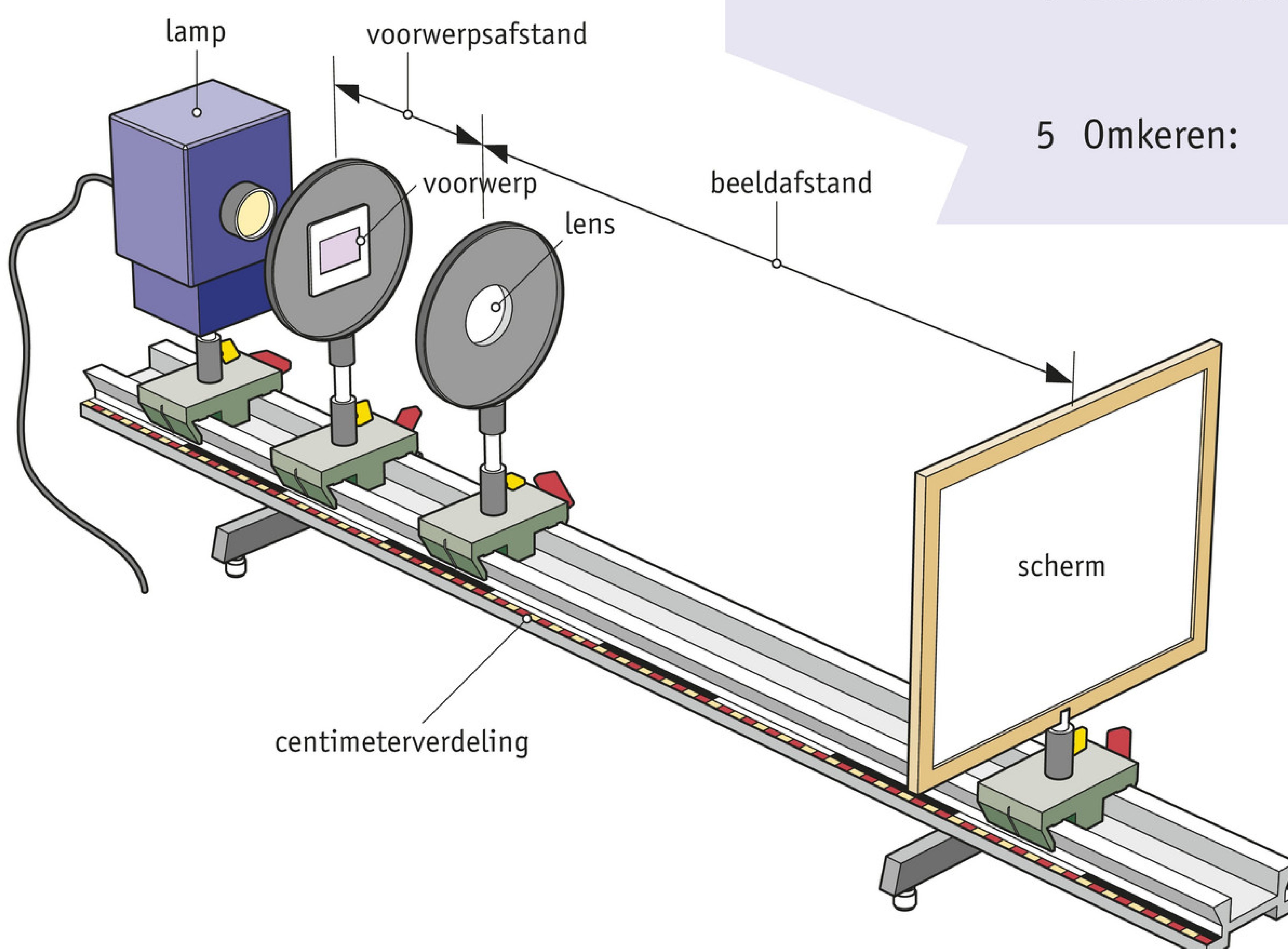
2 Formule invullen: $\frac{1}{15{,}0} = \frac{1}{v} + \frac{1}{435}$

3 Naar de andere kant brengen: $\frac{1}{v} = \frac{1}{15{,}0} - \frac{1}{435}$

4 Breuken uitrekenen: $\frac{1}{v} = 0{,}0689..$

5 Omkeren: $v = \frac{1}{0{,}0689...} = 14{,}5$ cm

▼ **figuur 29**
een optische bank





▲ **figuur 30**
een sterk vergroot beeld

De vergroting berekenen

Het beeld is meestal niet even groot als het voorwerp (figuur 30). Beelden kunnen sterk vergroot of sterk verkleind zijn en alles daar tussenin. Als je de afmetingen van het voorwerp en van het beeld kent, kun je de **vergroting** *N* berekenen. In formulevorm:

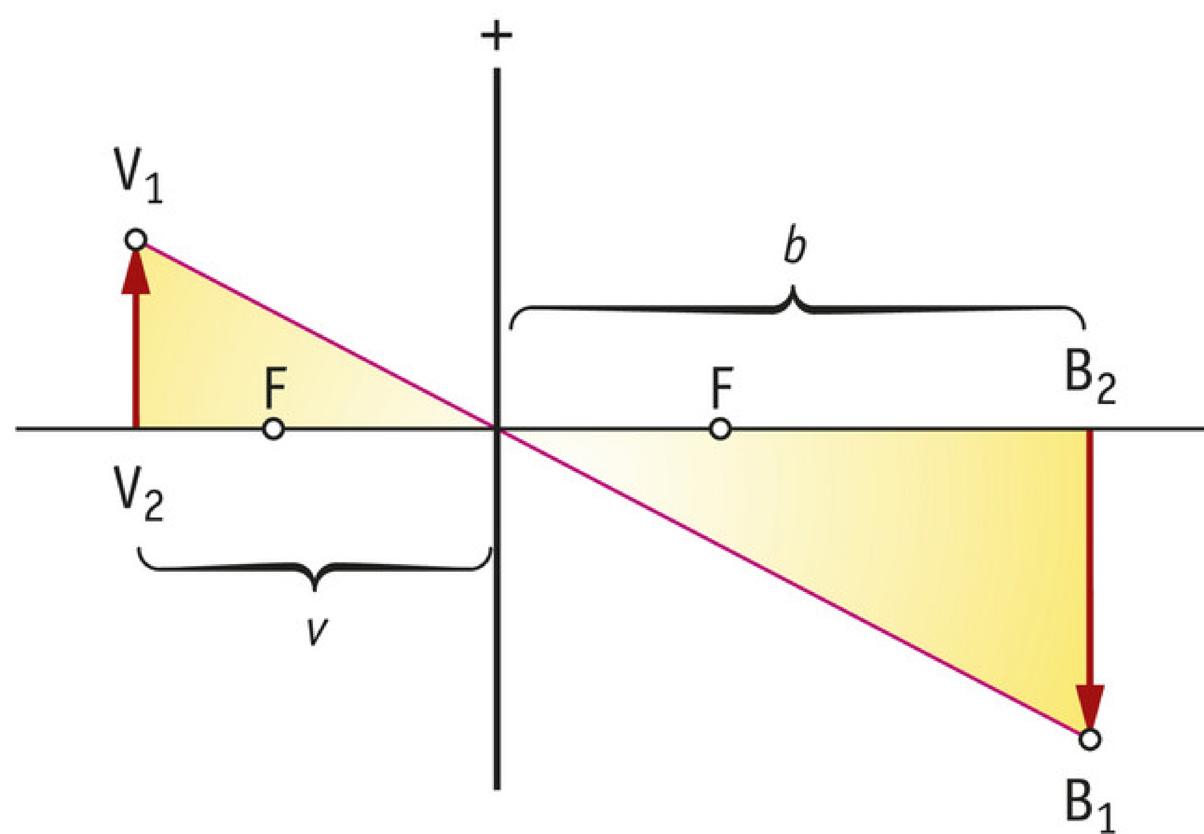
$$N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte voorwerp}}$$

Een beamer, een filmprojector en een microscoop maken een vergroot beeld. Dan is *N* groter dan 1. Bij een camera is het beeld op de beeldchip meestal kleiner dan het voorwerp. Dan is de vergroting kleiner dan 1, maar toch gebruik je dan het woord ‘vergroting’.

Uit figuur 31 kun je afleiden dat voor de vergroting ook geldt:

$$N = \frac{b}{v}$$

Deze formule gebruik je vaak in combinatie met de lenzenformule.



▲ **figuur 31**
Uit deze tekening kun je de formule voor de vergroting afleiden.

Voorbeeldopgave 3
Gilles projecteert een film met een beamer. Zie voor de gegevens voorbeeldopgave 1.
Bereken de vergroting.

gegevens v = 14,5 cm
b = 435 cm

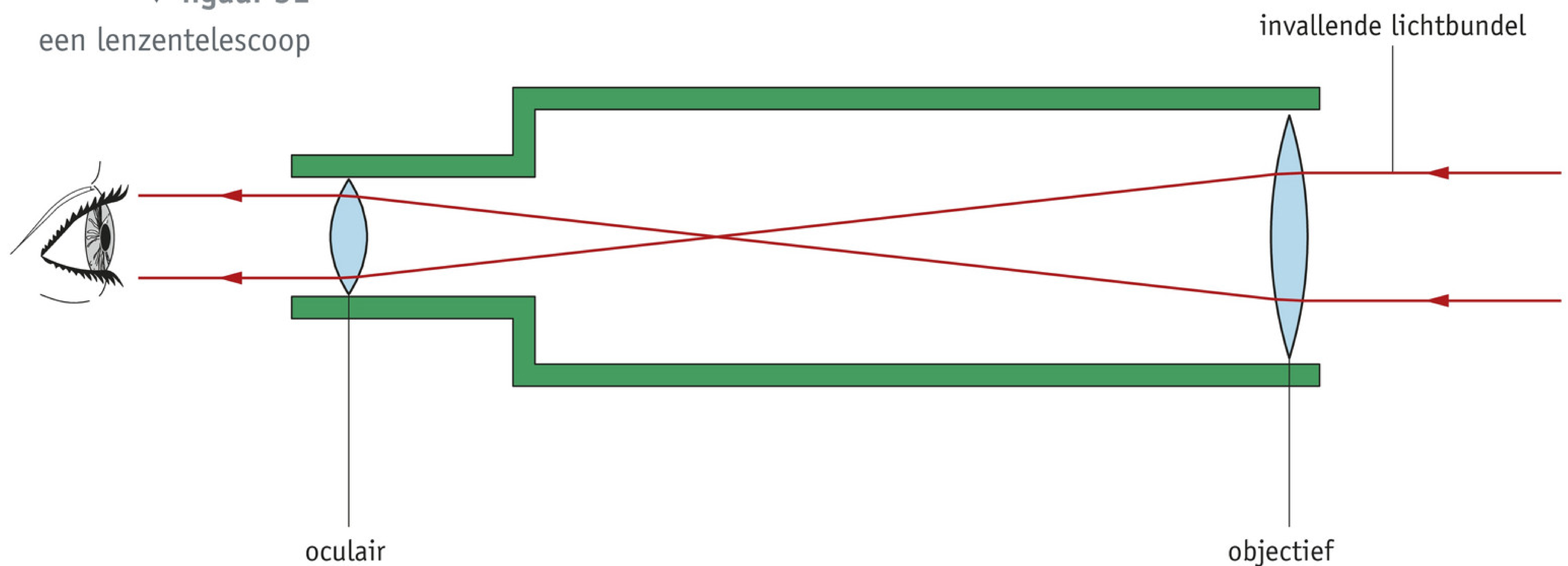
gevraagd N = ?

uitwerking $N = \frac{b}{v} = \frac{435}{14{,}5} = 30$

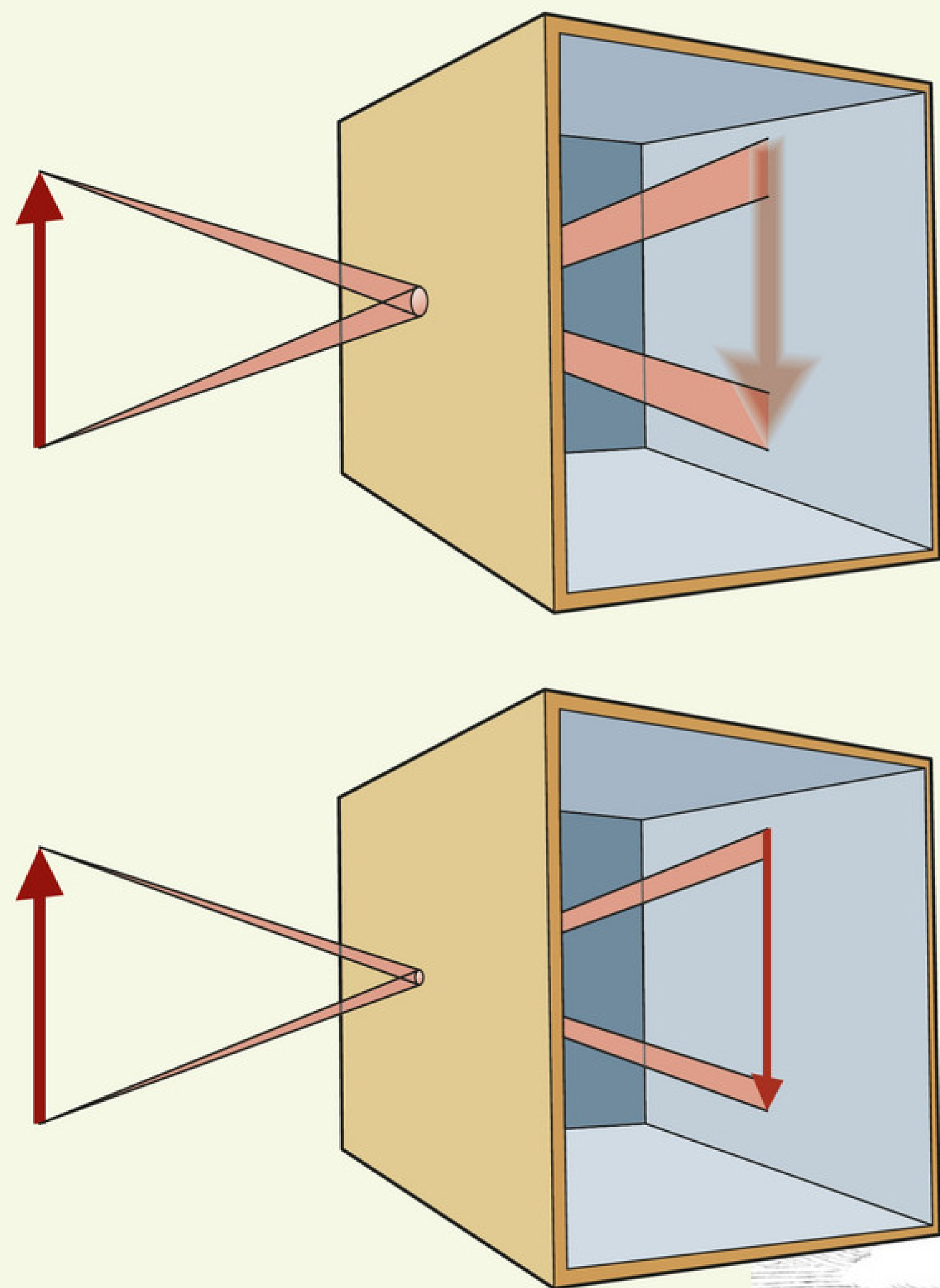
De lenzentelescoop

Met een lenzentelescoop kun je veraf gelegen voorwerpen vergroot zien. Een lenzentelescoop heeft op zijn minst twee lenzen: het **oculair** vlak bij je oog en het **objectief** aan de kant van het voorwerp (object). Het objectief is altijd groot, zodat het veel licht kan verzamelen. Daardoor kun je voorwerpen die ver weg staan en daardoor lichtzwak zijn, toch helder zien (figuur 32).

▼ **figuur 32**
een lenzentelescoop



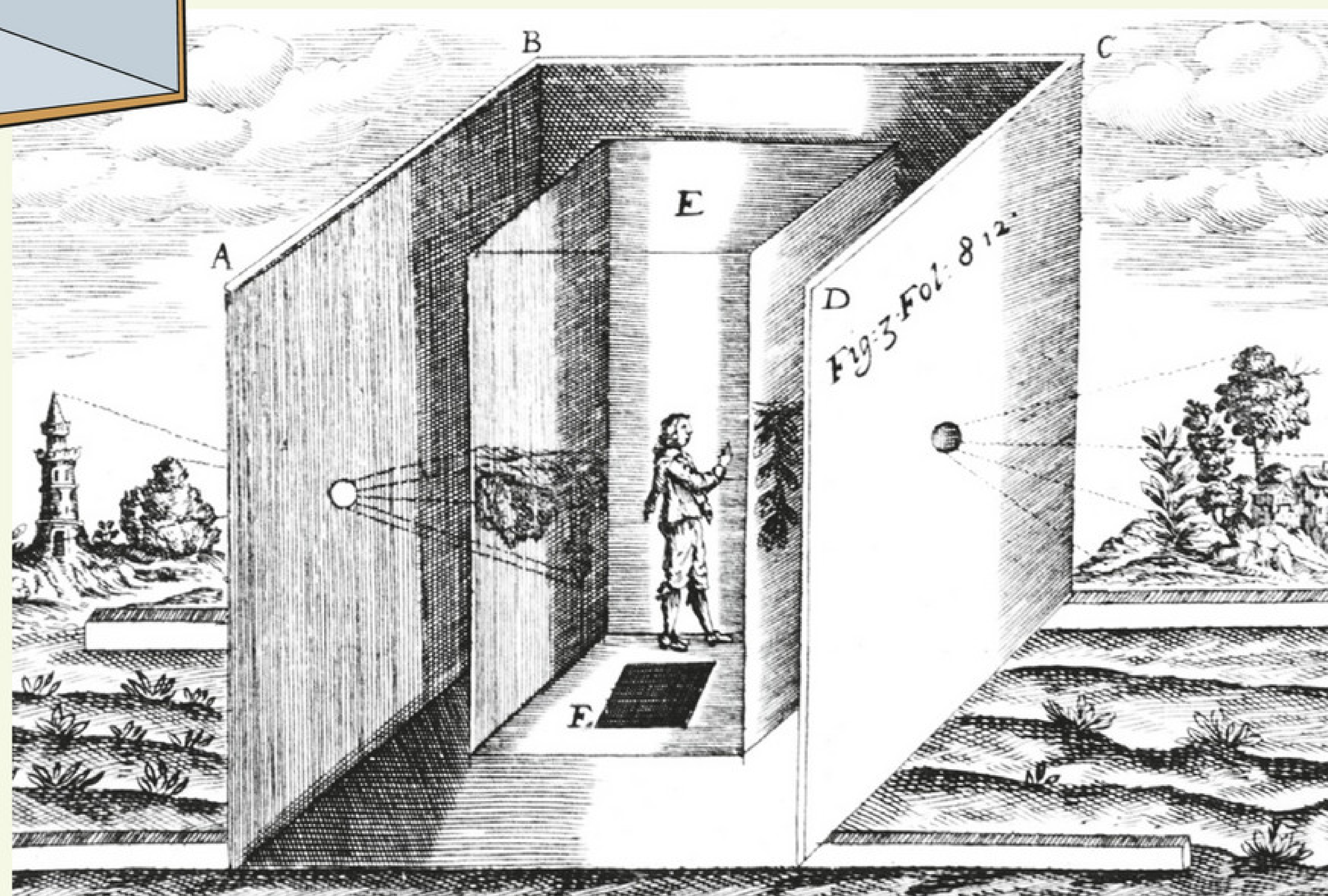
Plus De gaatjescamera



Met een gaatjescamera kun je lichtbeelden maken zonder lens (figuur 33). In de voorkant van een doos is een klein gaatje geprikt. In de achterwand van de doos is een doorzichtig scherm aangebracht. In de tekening zie je hoe een beeld op de achterwand ontstaat. In het beeld zijn onder en boven en links en rechts verwisseld.

Je ziet ook dat je het gaatje niet te groot moet maken: anders wordt het beeld niet scherp. Bij een camera heet het gat waar het licht doorheen komt het **diafragma**. Een gaatjescamera heeft een klein diafragma. Er kan door het gaatje maar heel weinig licht in de doos vallen, en het beeld is dan ook erg lichtzwak.

▲ **figuur 33**
Hoe kleiner het gaatje, hoe lichtzwakker en hoe scherper het beeld.



▶ **figuur 34**
een camera obscura

Het principe van deze camera werd al in de middeleeuwen gebruikt door schilders. Ze maakten een donkere kamer (*camera obscura*) in hun huis. In een van de wanden maakten ze een klein gaatje. De buitenwereld werd dan zichtbaar op hun schildersdoek (figuur 34).

opgaven

27 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke afstand verandert er in een camera als je scherpstelt?
- **b** Geef de lenzenformule en de betekenis van de drie grootheden daarin.
- **c** Geef twee formules waarmee je de vergroting kunt berekenen.

28 Michiel gebruikt een positieve lens (f = 8 cm) om een kaarsvlam af te beelden op een scherm.
- **a** Bereken waar Michiel het scherm neer moet zetten om een scherp beeld op te vangen:
  - als het lampje 18 cm voor de lens staat.
  - als het lampje 16 cm voor de lens staat.
- **b** Bereken de vergroting als het lampje 16 cm voor de lens staat. Wat valt je op?
- **c** Tussen welke waarden van v is het beeld verkleind?

29 Vervolg van opgave 28.
Michiel zet het lampje daarna 8 cm voor de lens, in het brandpunt.
- **a** Leg uit waarom het nu niet lukt om de beeldafstand te berekenen.
- **b** Hoe heet de lichtbundel die er dan na de lens ontstaat?

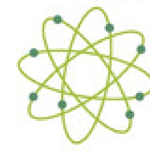
***30** De lens van een fototoestel heeft een brandpuntsafstand van 50,0 mm. Je stelt scherp op een voorwerp dat op een afstand van 90,0 cm van de lens staat en je maakt een foto. Daarna maak je een foto van een voorwerp heel ver weg.
- **a** Leg met de lenzenformule uit of je dan de afstand tussen de lens en de beeldchip moet vergroten of verkleinen.
- **b** Bereken hoe ver je de lens dan moet verschuiven.

Naar: IJSO

31 Teken een hoofdas en teken in het midden daarvan een streep die een positieve lens voorstelt met een brandpuntsafstand van 3 cm. Teken op 5 cm van de lens een pijl van 2 cm verticaal op de hoofdas.
- **a** Construeer het beeld van de pijl.
- **b** Controleer met een berekening of het beeld in je tekening op de juiste plek staat.
- **c** Controleer met een berekening of de vergroting die volgt uit jouw tekening overeenkomt met de vergroting die volgt uit de theorie.

32 Desirée staat op 4,0 m afstand voor een bewakingscamera. Het beeld op de beeldchip van de camera is 8,0 mm groot. In werkelijkheid is Desirée 1,6 m lang.
- **a** Bereken de vergroting.
- **b** Bereken de brandpuntsafstand van de cameralens.

***33** Bij deze opgave heb je werkblad 3-8 nodig.



Een leerlinge heeft een optische bank, een lichtgevend voorwerp, een scherm en een bolle lens. Bij zes waarden van de voorwerpsafstand *v* bepaalt ze de beeldafstand *b* (tabel 4). Ze weet dat geldt: 1/*b* + 1/*v* is constant. Dus lijkt het haar handig om een grafiek van 1/*b* tegen 1/*v* te gaan maken, want dan krijg je een rechte lijn.

a Bereken alle waarden voor 1/*v* en 1/*b*.
b Teken de grafiek op het werkblad.
c Zet in de grafiek de letter A bij het punt waar geldt dat de vergroting 1 is. Licht je keuze kort toe.
d Bepaal de brandpuntsafstand met het snijpunt van de grafiek met een van de assen. Laat zien hoe je die waarde hebt gevonden.
Naar: IJSO

▼ **tabel 4** metingen met een optische bank

meting	*v* (cm)	1/*v* (cm^{-1})	*b* (cm)	1/*b* (cm^{-1})
1	12	0,083	60	0,017
2	14		36	
3	16		27	
4	18		23	
5	21		19	
6	23		18	

***34** Hanneke fotografeert een kerktoren op een afstand van 50 m van de lens. De lens van haar camera heeft een brandpuntsafstand van 20 mm. Ze beweert dat je in dit geval de vergroting kunt berekenen met de formule $N = f/v$, omdat *v* veel groter is dan *f*.
Laat zien dat Hanneke gelijk heeft.

35 Evert en Carin bouwen een eenvoudige telescoop. Ze gebruiken twee positieve lenzen, de ene met $f = 4$ cm en de andere met $f = 20$ cm. De vergroting *N* kun je bij een telescoop berekenen met de formule:

$$N = \frac{f_{obj}}{f_{ocu}}$$

a Leg uit met de formule welke lens ze als objectief moeten gebruiken.
b Ga na of dat overeenkomt met figuur 32 op bladzijde 120.
c Bereken de vergroting van hun telescoop.
d Op een website lezen ze: 'De positieve lenzen in een telescoop zijn zo afgesteld dat de brandpunten van het objectief en het oculair precies samenvallen.'
Bereken de afstand tussen oculair en objectief.

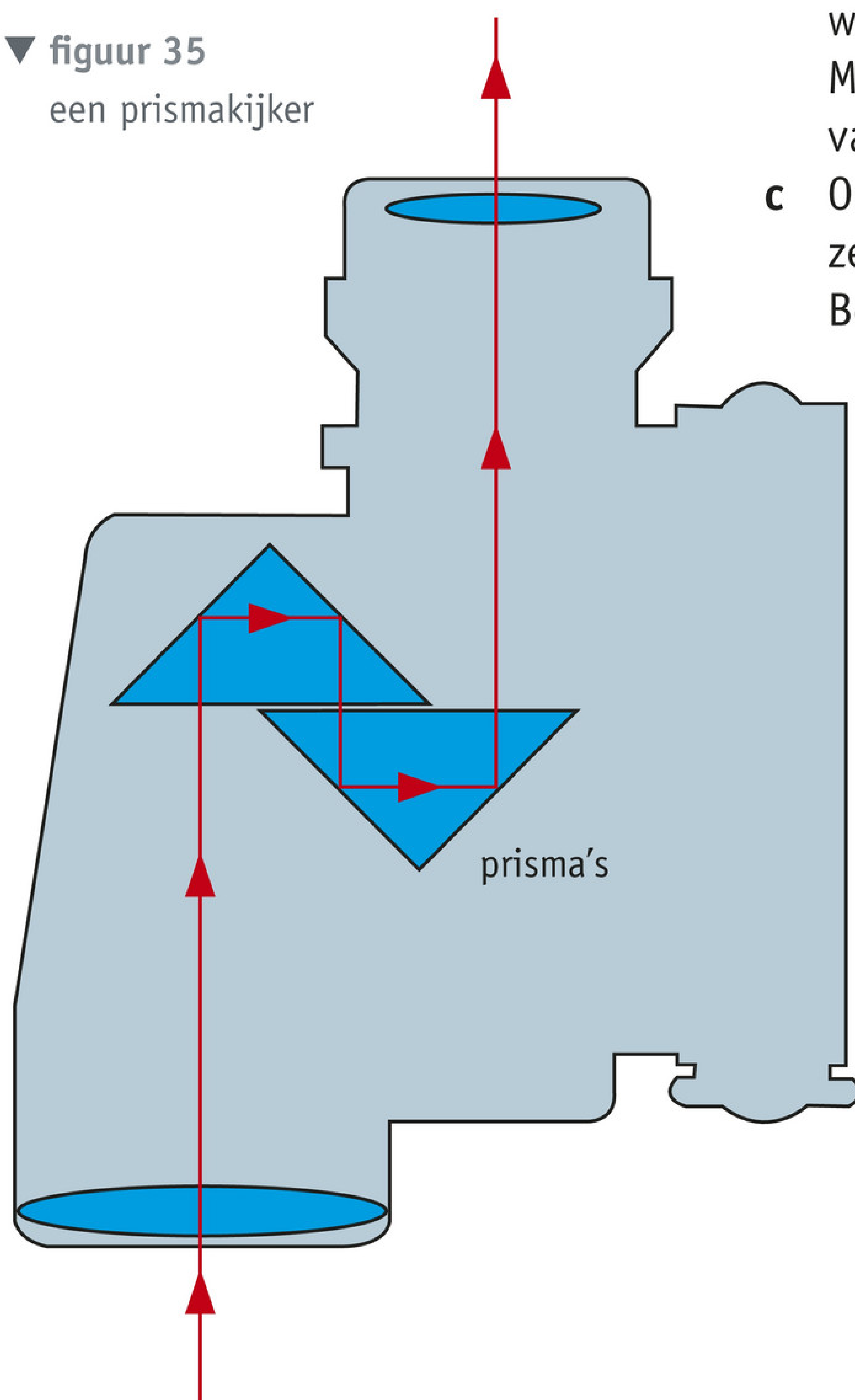
***36** Vervolg van opgave 35.
In figuur 35 zie je de helft van een verrekijker. Deze kijker wordt een prismakijker genoemd. Ook voor deze verrekijker geldt dat de brandpunten van het objectief en het oculair precies samen moeten vallen.
- **a** Verklaar waarom de lichtstraal door de prisma's gaat zoals in de figuur is getekend.
- **b** Wat is het voordeel van het gebruik van de prisma's in een verrekijker?

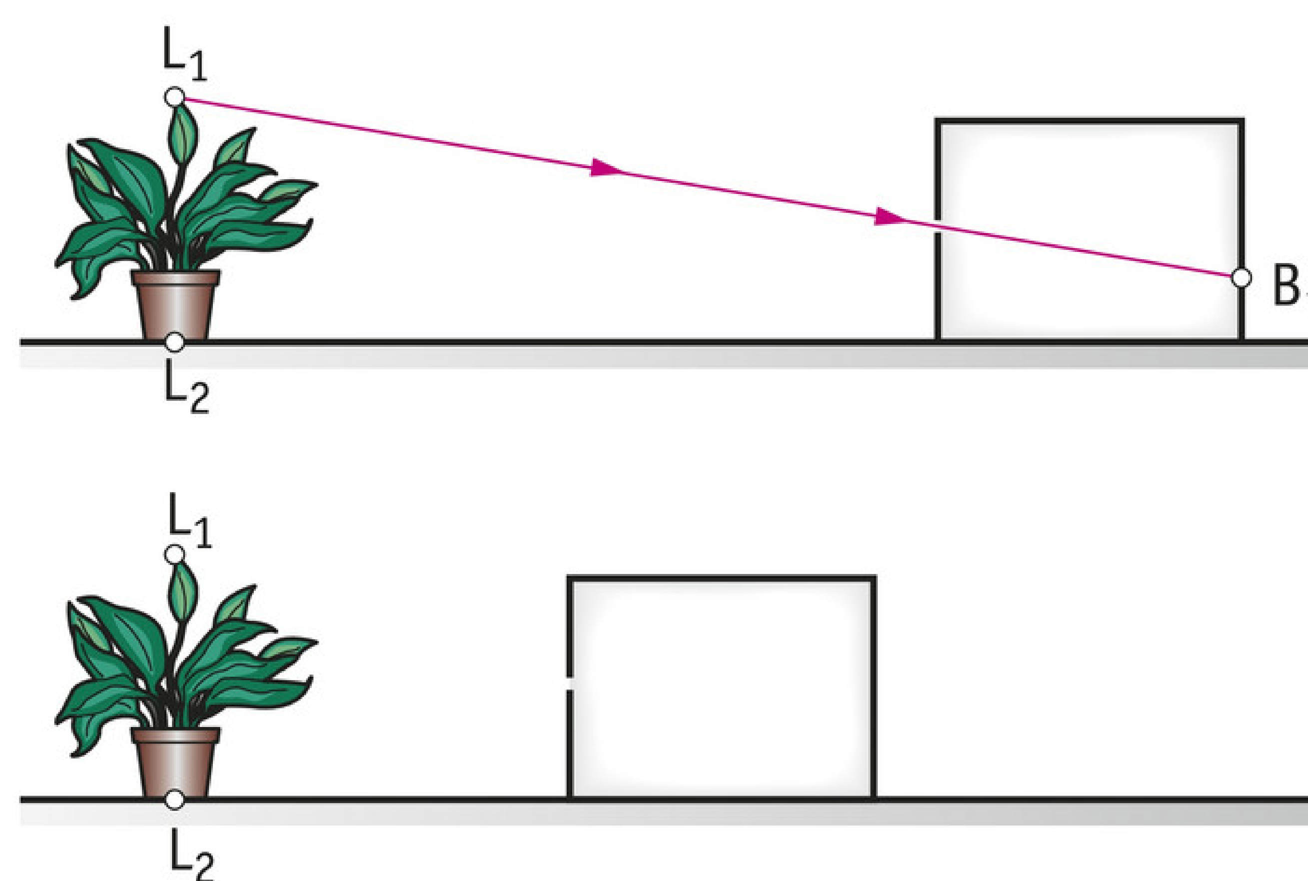
Plus De gaatjescamera

37 Bij deze opgave heb je werkblad 3-9 nodig.
Voor een gaatjescamera staan twee lampjes L_1 en L_2.
- **a** Teken de lichtbundels die vanuit de lampjes op het scherm vallen.
- **b** Op het scherm zie je twee lichtvlekken.
  Hoe veranderen die lichtvlekken, als je het gaatje in de camera kleiner maakt?
- **c** Welke twee gevolgen heeft dat voor het beeld?

38 Een schilder wil een kamerplant schilderen (figuur 36). Met een gaatjescamera maakt hij eerst een afbeelding van de kamerplant op zijn schildersdoek.
- **a** Hoe verandert de grootte van het beeld als hij de gaatjescamera dichter bij de plant zet? Laat dat zien met behulp van twee tekeningen.
- **b** In de gaatjescamera is de afstand van het gaatje tot de achterwand 40 cm. De kamerplant is 60 cm hoog. De schilder ziet op de achterwand een beeld dat 20 cm hoog is.
  Maak een tekening en bepaal de afstand tussen de plant en het gaatje van de camera.
- **c** Omdat het gaatje een beeld vormt van een voorwerp, zou je kunnen zeggen dat ook het gaatje een brandpuntsafstand heeft.
  Bereken die brandpuntsafstand.

▼ **figuur 35**
een prismakijker





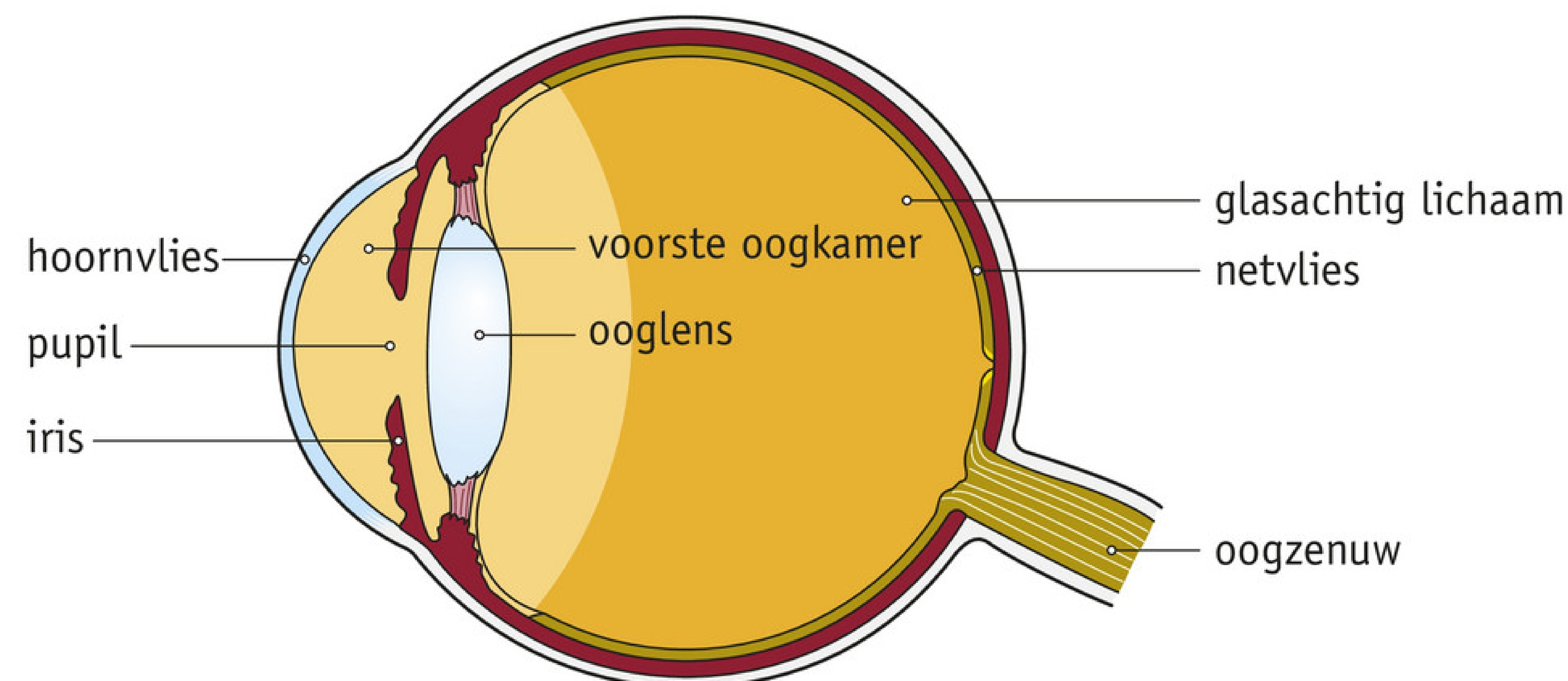
▲ **figuur 36**
beelden maken met een gaatjescamera

4 Oog en bril

Ook je oog bevat een lens. Als er genoeg licht is, maakt die een beeld van de wereld om je heen op je netvlies. Als je goede ogen hebt, is dat beeld altijd scherp. Als dat niet zo is, heb je een bril of contactlenzen nodig.

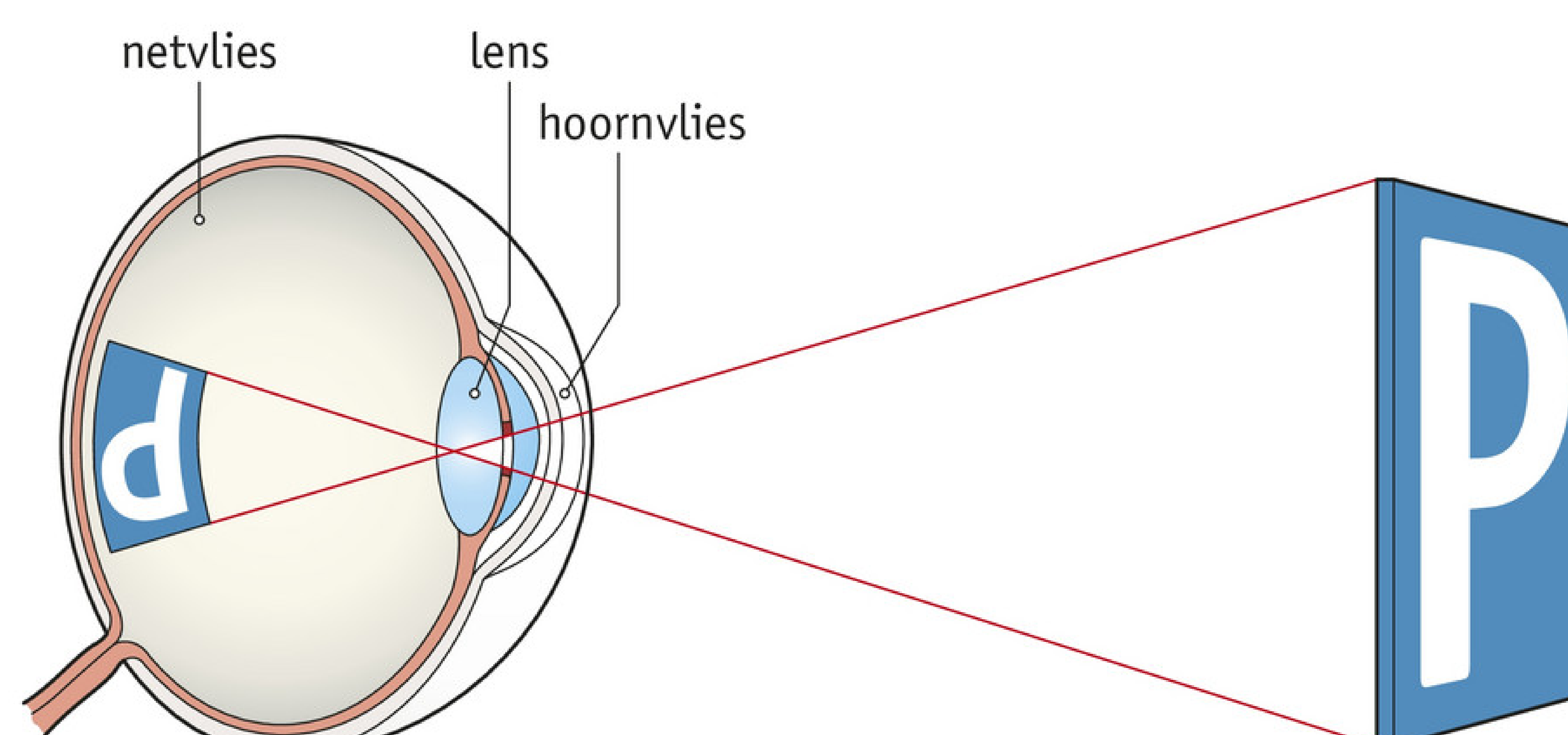
De bouw van je ogen

Je ziet voorwerpen om je heen doordat ze zelf licht geven of doordat ze licht weerkaatsen naar je ogen. Het licht van het voorwerp gaat door het hoornvlies, de ooglens en het glasachtig lichaam en valt dan op het netvlies (figuur 37).



▶ **figuur 37**
een oog in doorsnede

Het **hoornvlies** en de **ooglens** werken samen als een positieve lens, zodat er op het netvlies een scherp beeld ontstaat. Dat beeld staat ondersteboven en is sterk verkleind (figuur 38).
Het **glasachtig lichaam** houdt je oog in de goede vorm zodat de beeldafstand hetzelfde blijft. Het **netvlies** bevat een groot aantal lichtgevoelige zintuigcellen die elk een elektrische puls geven, als er licht op valt. Deze pulsen worden door de oogzenuw doorgegeven aan de hersenen. Pas als je hersenen die pulsen ontvangen, zie je iets.
De **pupil** is een opening in de **iris** (het gekleurde deel van je oog). In fel zonlicht zijn je pupillen klein zodat er niet te veel licht op je netvlies valt. In het schemerdonker zijn je pupillen groot zodat je het licht zo goed mogelijk benut.

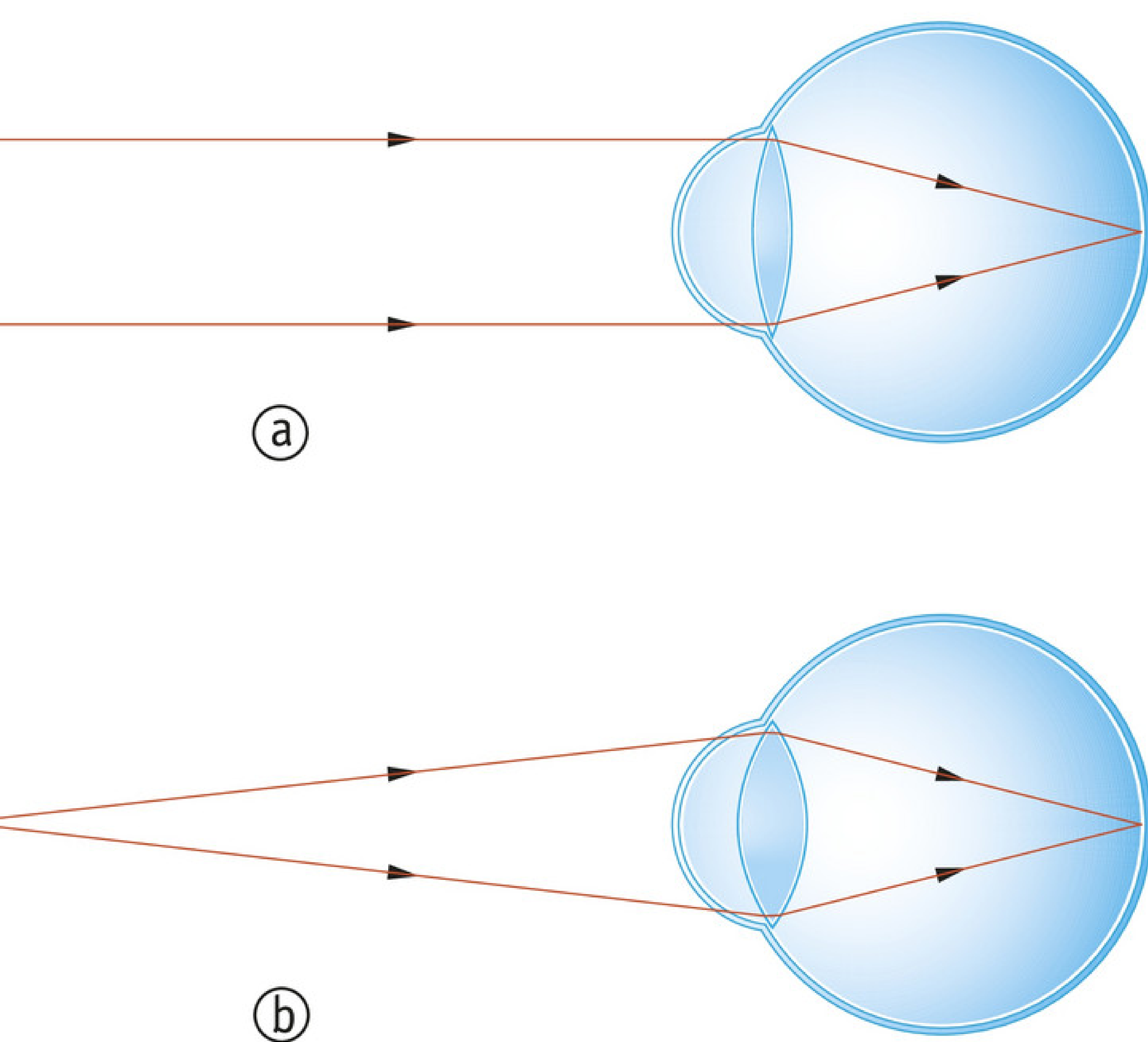


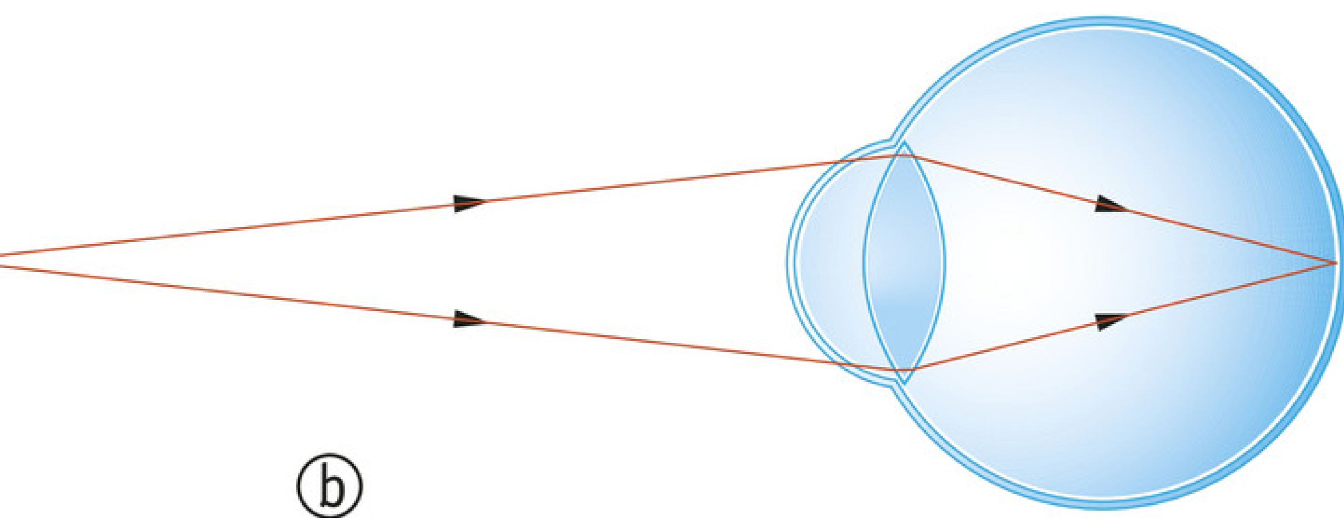
▶ **figuur 38**
de beeldvorming in het oog

Accommoderen

De dingen om je heen staan niet allemaal op dezelfde afstand. De voorwerpsafstand *v* is dus niet constant en je ogen moeten dus scherpstellen, net als een camera en een beamer.
De afstand tussen de ooglens en het netvlies is altijd even groot: ongeveer 17 mm. Anders dan bij een camera en een beamer, ligt bij je oog de beeldafstand dus vast. Als de voorwerpsafstand *v* verandert en de beeldafstand *b* is constant, zal volgens de lenzenformule de brandpuntsafstand *f* moeten veranderen. Dat gebeurt door een kring van spiertjes rond de ooglens die de ooglens platter en boller kunnen maken. Dat noem je het **accommoderen** van het oog (van het Latijnse *ad* en *com* en van *modus* = 'maat').

Als je naar een voorwerp in de verte kijkt, valt het licht bijna evenwijdig op het oog. De lens hoeft dan niet erg sterk te zijn om het voorwerp scherp af te beelden (figuur 39a). De spiertjes in je oog zijn dan ontspannen en de ooglens is vrij plat. De brandpuntsafstand is relatief groot.
Als je naar een voorwerp vlakbij kijkt, moet de lens het licht sterker afbuigen (figuur 39b). De lens moet dus boller zijn en de brandpuntsafstand kleiner. In je oog trekken de spiertjes rond de ooglens samen, waardoor die boller wordt.



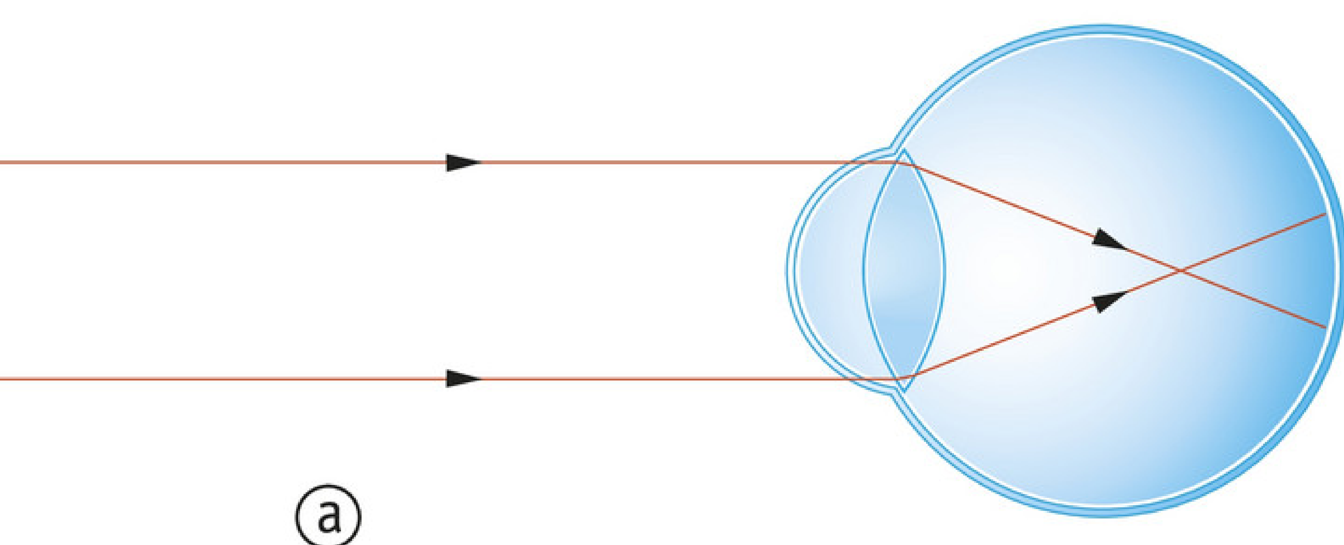


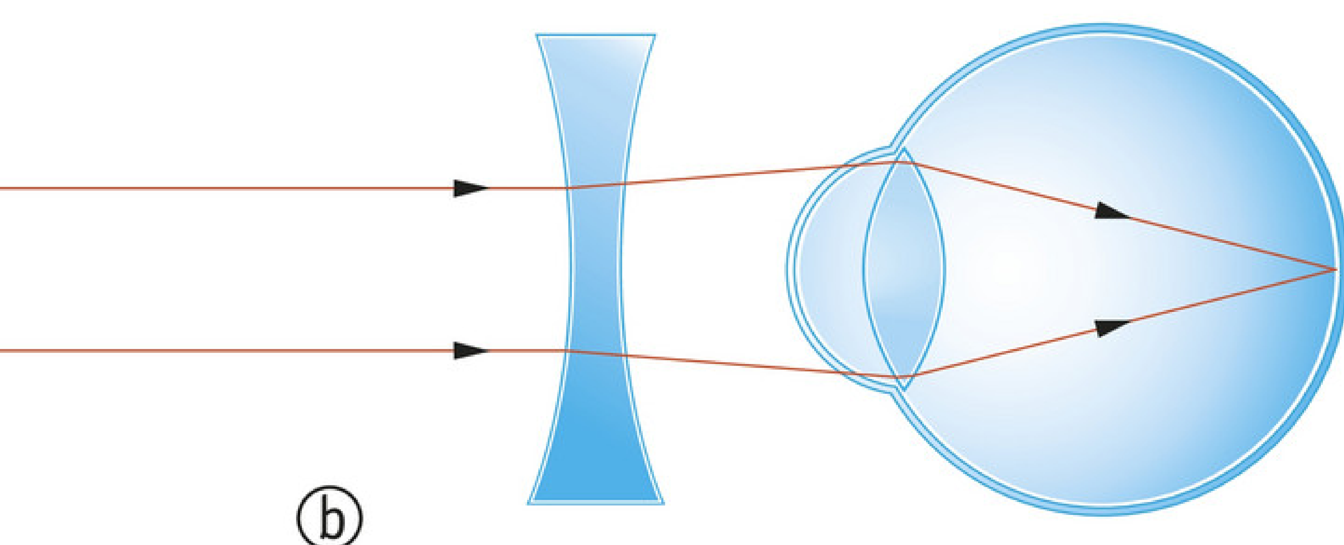
▲ **figuur 39**
kijken naar iets in de verte en naar iets dichtbij

Bijziend en verziend

Veel mensen zien de dingen om hen heen niet allemaal even scherp. De lenzen van hun ogen breken het licht te sterk of juist niet sterk genoeg.

Als je **bijziend** bent, zie je voorwerpen ver weg niet scherp. Dat komt doordat je ooglenzen in ongeaccommodeerde toestand te sterk zijn.
Het beeld van een voorwerp ver weg valt dan niet óp maar vóór het netvlies (figuur 40a). Negatieve brillenglazen of contactlenzen lossen dat probleem op. Ze divergeren de lichtbundel voordat die op de ogen valt. Het beeld komt dan weer op het netvlies (figuur 40b).

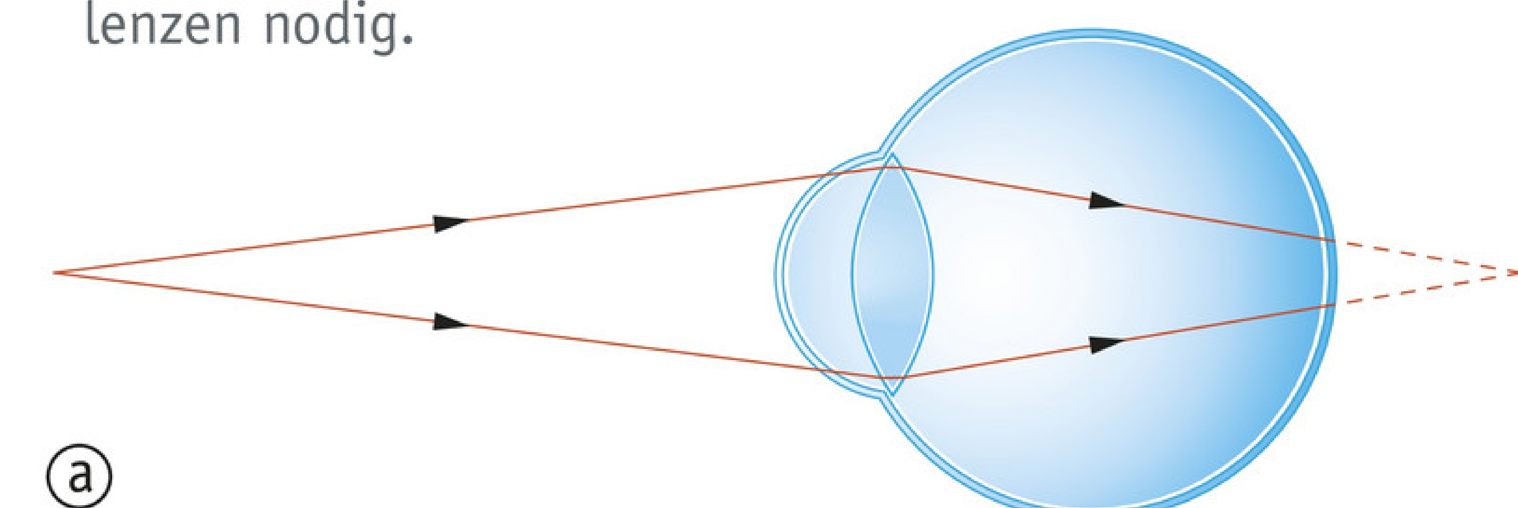


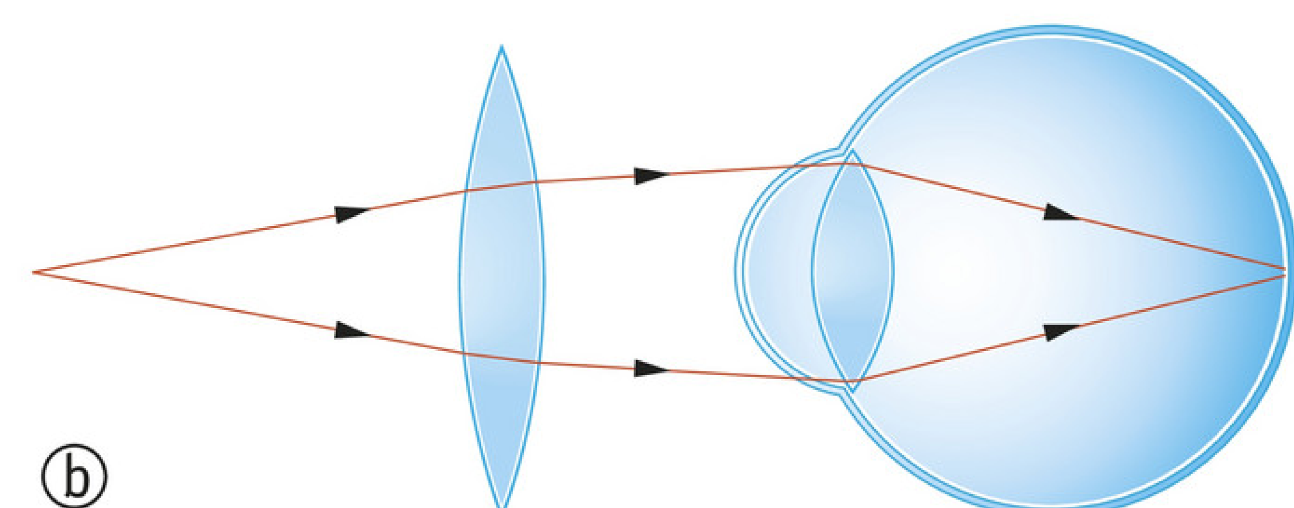


▲ **figuur 40**
Een bijziende heeft negatieve lenzen nodig.

Als je **verziend** bent, kun je voorwerpen vlakbij niet goed zien. De ooglens is dan in geaccommodeerde toestand te zwak en het beeld valt achter het netvlies (figuur 41a). Positieve brillenglazen of contactlenzen helpen de ooglens een handje zodat er wel een scherp beeld op het netvlies ontstaat (figuur 41b).
Als je verziend bent, kun je wel scherp in de verte zien, maar moet je voortdurend accommoderen. Dat is vermoeiend en je krijgt er hoofdpijn van.

▲ **figuur 41**
Een verziende heeft positieve lenzen nodig.







▲ **figuur 42**
Op leesbrillen in de winkel staat de sterkte (in dioptrie) al vermeld.

Oudziend

Veel oudere mensen zijn **oudziend**. Hun ooglenzen hebben in ongeaccommodeerde toestand de goede sterkte zodat ze in de verte scherp kunnen zien. Maar ze kunnen minder goed accommoderen, waardoor de ooglens niet meer voldoende bol kan worden. Je kunt dan van dichtbij niet meer scherp zien en je hebt de hulp nodig van een leesbril met positieve lenzen.

Dioptrie

De sterkte S van een brillenglas geef je aan in dioptrie (figuur 42). Je kunt de **sterkte** van een lens (in dioptrie) berekenen met de formule:

$$S = \frac{1}{f}$$

Als je f in meter invult, vind je S in dpt. Een brillenglas met een brandpuntsafstand van 50 cm heeft dus een lenssterkte van +2 dpt.

Plus Vertepunt en nabijheidspunt

Een jong iemand met gezonde ogen kan moeiteloos alles in de verte scherp zien. Omdat er geen grens is aan de afstand waarop hij nog scherp kan zien, zeg je: zijn **vertepunt** ligt op oneindig. Bij bijzienden ligt het vertepunt niet op oneindig maar dichterbij.

Behalve een vertepunt heeft iedereen ook een nabijheidspunt. Als je een boek steeds dichter naar je ogen brengt, komt er een moment dat je de letters niet meer scherp kunt zien. Je ogen kunnen dan niet verder accommoderen. De plek waarop je nog net scherp ziet, noem je het **nabijheidspunt**. Bij een gezonde volwassene ligt het nabijheidspunt op ongeveer 30 cm van de ogen, maar bij kinderen kan het veel dichterbij liggen. Bij oudzienden ligt het nabijheidspunt een stuk verder (figuur 43).

Je kunt dus alles scherp zien tussen het nabijheidspunt en het vertepunt.



◀ **figuur 43**
Bij ouderen ligt het nabijheidspunt vaak onhandig ver weg.

opgaven

39 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Leg uit hoe het oog de brandpuntsafstand van de ooglens kan aanpassen.
- **b** Waarom kan iemand die bijziend is, voorwerpen in de verte niet goed zien?
- **c** Heeft een bijziende positieve of negatieve brillenglazen of contactlenzen nodig?

40 Paul kijkt door het raam naar buiten en meteen daarna naar het scherm van zijn telefoon.
- **a** Leg uit wat er in zijn oog verandert waardoor hij in beide situaties een scherp beeld ziet.
- **b** Wat is inspannender voor zijn ogen: naar buiten kijken of op zijn telefoon? Leg uit waarom.

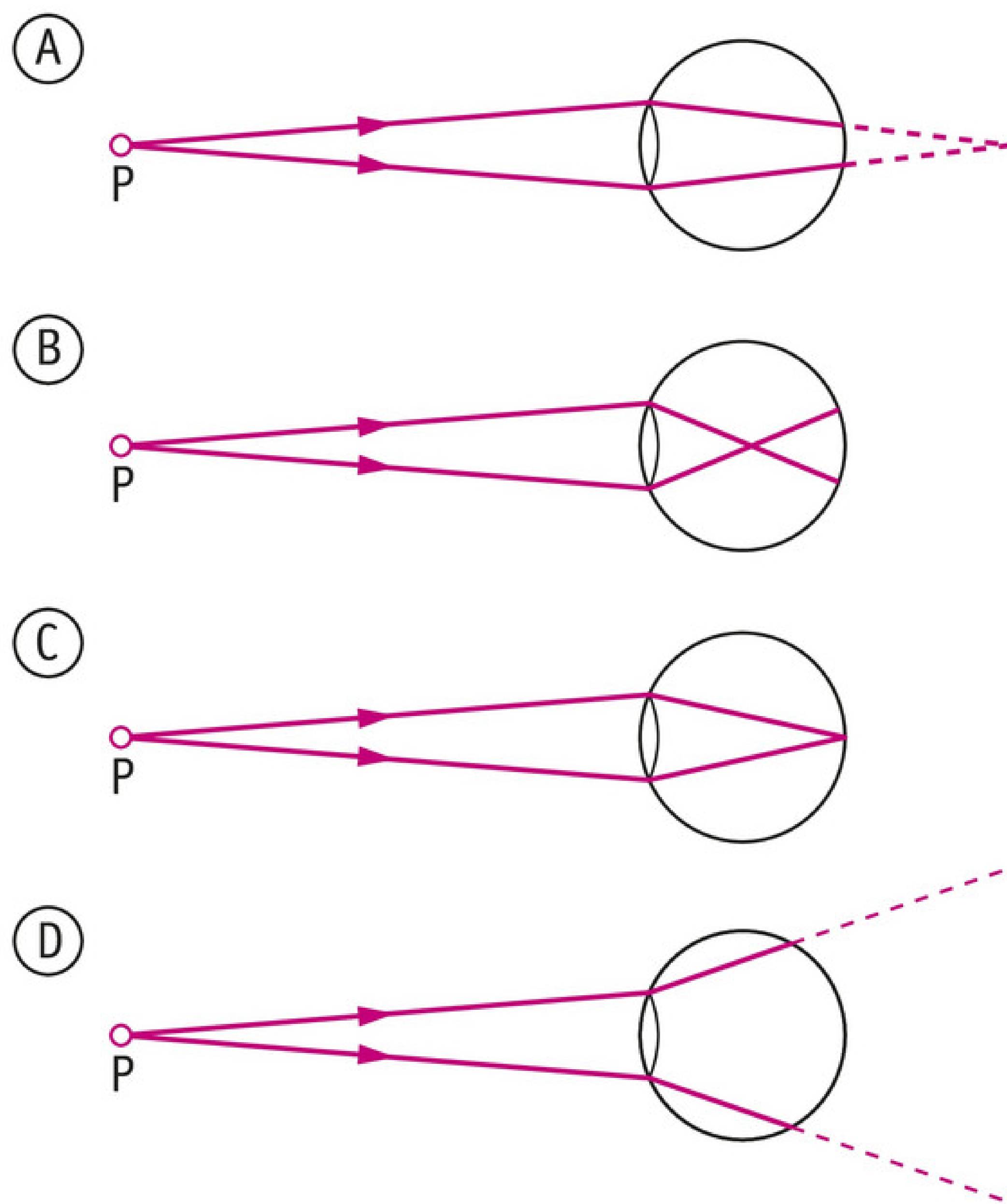
41 Bij deze opgave heb je werkblad 3-10 nodig.
In de tekening op het werkblad houdt Nico een lucifer voor zijn linkeroog. Hij kan de lucifer nog net scherp zien.
- **a** Teken het beeld van de lucifer op het netvlies.
- **b** Is het beeld vergroot of verkleind?
- **c** Staat het beeld rechtop of ondersteboven?
- **d** Hoe verandert het beeld als Nico de lucifer verder van zijn oog houdt?

42 Als Wessel een vinger op 10 cm voor zijn ogen houdt, kan hij die nog net scherp zien. Bij beide ogen is de afstand tussen ooglens en netvlies 1,7 cm.
- **a** Hoe groot is de voorwerpsafstand?
- **b** Hoe groot is de beeldafstand?
- **c** Bereken de brandpuntsafstand.
- **d** Wessel kijkt nu naar een auto die 100 m verderop voorbijrijdt. Bereken met hoeveel procent de brandpuntsafstand van de ooglens groter of kleiner is geworden.

43 José gebruikt sterke negatieve contactlenzen.
- **a** Is ze bijziend of verziend?
- **b** Heeft ze haar contactlenzen nodig om te kunnen lezen?
- **c** Heeft ze haar contactlenzen nodig om vanaf de tribune een voetbalwedstrijd te kunnen volgen?

44 Marjan draagt een bril, omdat ze een voorwerp dat meer dan 2,0 m weg is niet scherp kan zien. Het beeld komt dan iets voor het netvlies terecht.
- **a** Is Marjan verziend of bijziend?
- **b** Heeft Marjan positieve of negatieve brillenglazen?

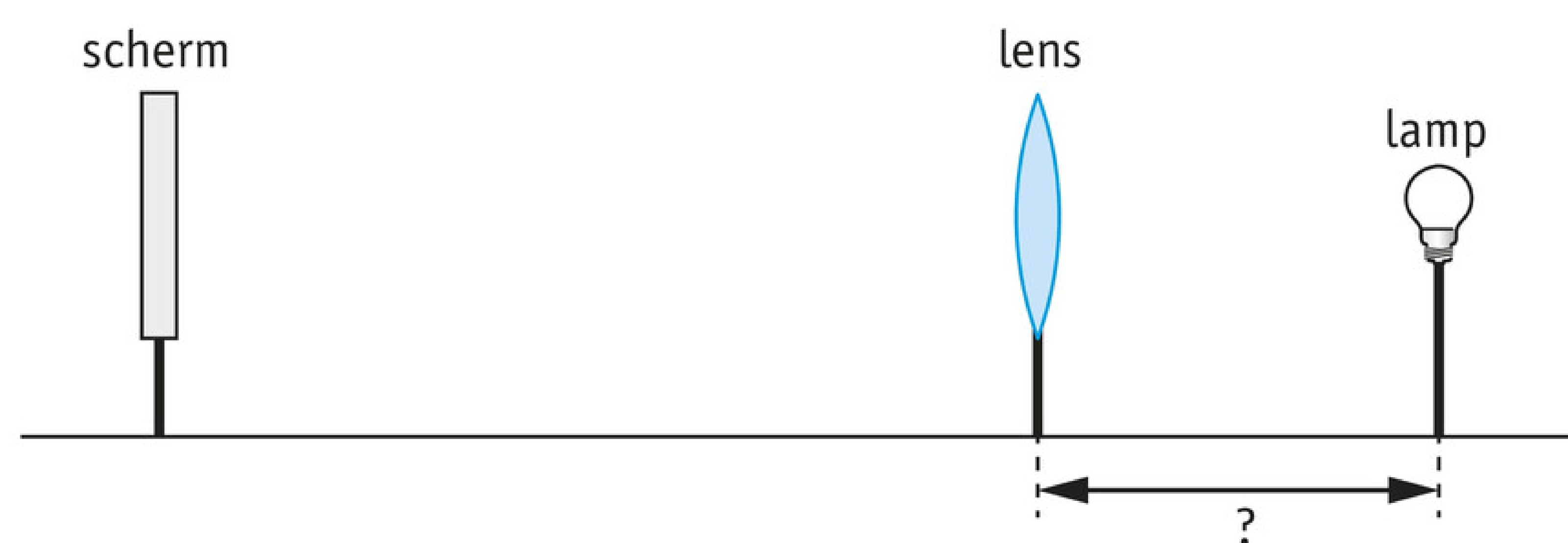
45 Gerard is 14 jaar oud en heeft een bril van +4 dpt.
- **a** Bereken de brandpuntsafstand van de lenzen.
- **b** Is Gerard bijziend, verziend of oudziend?



▲ **figuur 44**
Welke tekening geeft Esters oogafwijking juist weer?

46 Bij deze opgave heb je werkblad 3-11 nodig.
Ester is 36 jaar en kijkt naar het beeldscherm van haar laptop. Haar ooglens is volledig geaccommodeerd. Toch ziet ze niet scherp, omdat haar ooglens het licht te weinig convergeert.
- **a** Leg uit of Ester oudziend, bijziend of verziend is.
- **b** Welke tekening in figuur 44 geeft deze situatie correct weer?
- **c** Neem de tekening die je bij b hebt gekozen over of gebruik het werkblad.
  Teken met een andere kleur hoe de lichtstralen lopen als Ester een geschikte bril opzet.

***47** Joris maakt de opstelling die in figuur 45 is getekend. De lens heeft een sterkte van +17 dpt. In de getekende situatie valt er een evenwijdige bundel licht op het scherm.
Bereken de afstand van de lamp tot de lens.



▶ **figuur 45**
de proefopstelling van Joris

48 Keratotomie is een techniek met laserstraling die oogartsen soms gebruiken om een hoornvlies minder bol te maken (figuur 46).
- **a** Hoe moet bij keratotomie de ooglens van een bijziende worden aangepast? Licht je antwoord toe.
- **b** Waarom zal ooglaseren het probleem van oudziendheid niet kunnen oplossen?



▲ **figuur 46**
keratotomie

Plus Vertepunt en nabijheidspunt

49 Om het etiket van bijvoorbeeld een pot jam te lezen, moeten veel ouderen die pot een eind van hun ogen houden.
- **a** Hoe heet deze oogafwijking?
- **b** Leg uit waarom deze afwijking ook wel ouderdomsverziendheid wordt genoemd.
- **c** Hoe verandert het nabijheidspunt van deze mensen als ze een leesbril opzetten?
- **d** Heeft deze leesbril positieve of negatieve lenzen?

50 Gebruik dit boek om jouw eigen nabijheidspunt te vergelijken met dat van je buurman of buurvrouw.

***51** Bij jonge mensen ligt het vertepunt heel ver weg.
- **a** Wat betekent dat?
- **b** Welk onderdeel van de lenzenformule wordt vrijwel nul als je in de verte kijkt?
- **c** Welk verband volgt er dan uit de lenzenformule?

52 Leg uit waardoor de nabijheidsafstand van bijzienden heel klein is.

Practicum

Je docent zal je vertellen van welke proeven je een verslag moet maken.
Zie vaardigheid 10 achter in je boek.

Proef 1 Lichtstralen laten breken 30 min

Inleiding

Een lichtstraal die op het oppervlak van een doorzichtige stof valt, verandert van richting. Dit verschijnsel heet lichtbreking.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Hoe verandert de richting van een lichtstraal als die door een perspex blokje gaat?

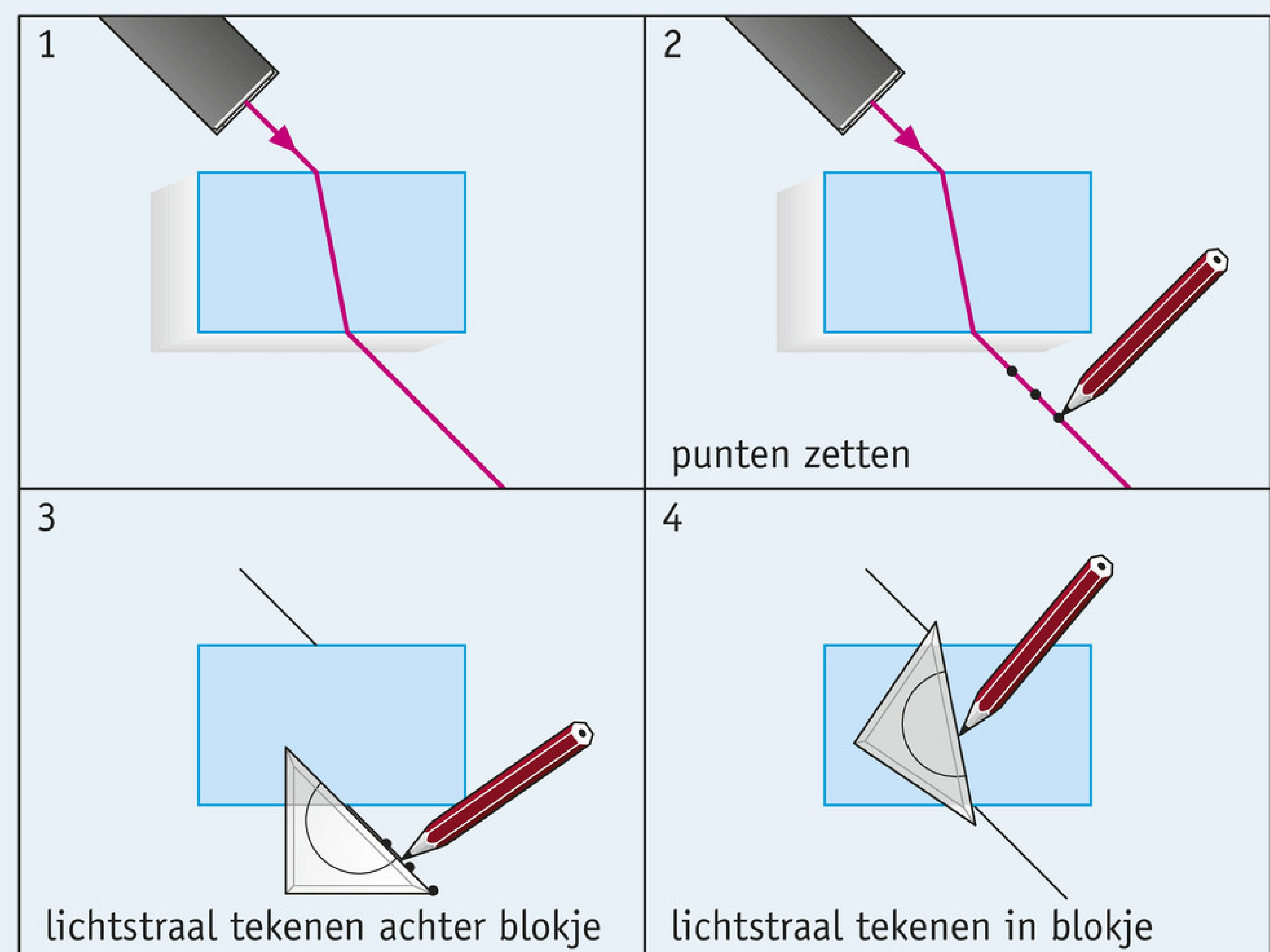
Nodig

- lichtkastje
- diafragma met één opening
- perspex blokje
- liniaal
- werkblad 3-12

Uitvoeren en uitwerken

- Leg het perspex blokje op de juiste plaats in tekening a van het werkblad.
- Laat een lichtstraal op het blokje vallen zodat die samenvalt met de getekende lichtstraal.
- Zet drie puntjes op het papier bij de lichtstraal die uit het blokje komt.
- Je ziet ook spiegeling optreden. Zet ook bij de gespiegelde lichtstraal drie puntjes.
- Doe hetzelfde in de tekeningen b en c.

1 Teken op het werkblad met een liniaal in de tekeningen a, b en c de lichtstraal die het blokje verlaat.
2 Teken nu ook de lichtstraal in het blokje.
3 In welke situatie wordt de lichtbundel niet gebroken?
4 In welke situatie wordt de lichtbundel het sterkst gebroken?
5 Teken bij breking op het werkblad de normaal en geef de hoek van inval en de hoek van breking aan (figuur 2 en 47).
6 Beantwoord de onderzoeksvraag. Gebruik daarbij de normaal.



▲ **figuur 47**
Zo teken je de lichtstralen.

Proef 2 Het verband tussen hoek van inval en hoek van breking 45 min

Inleiding
Lichtstralen die van lucht naar perspex gaan, worden naar de normaal toe gebroken: de hoek van breking ∠*r* (tussen de gebroken lichtstraal en de normaal) is dan steeds kleiner dan de hoek van inval ∠*i* (tussen de invallende lichtstraal en de normaal).

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen ∠i en ∠r bij de overgang van lucht naar perspex?

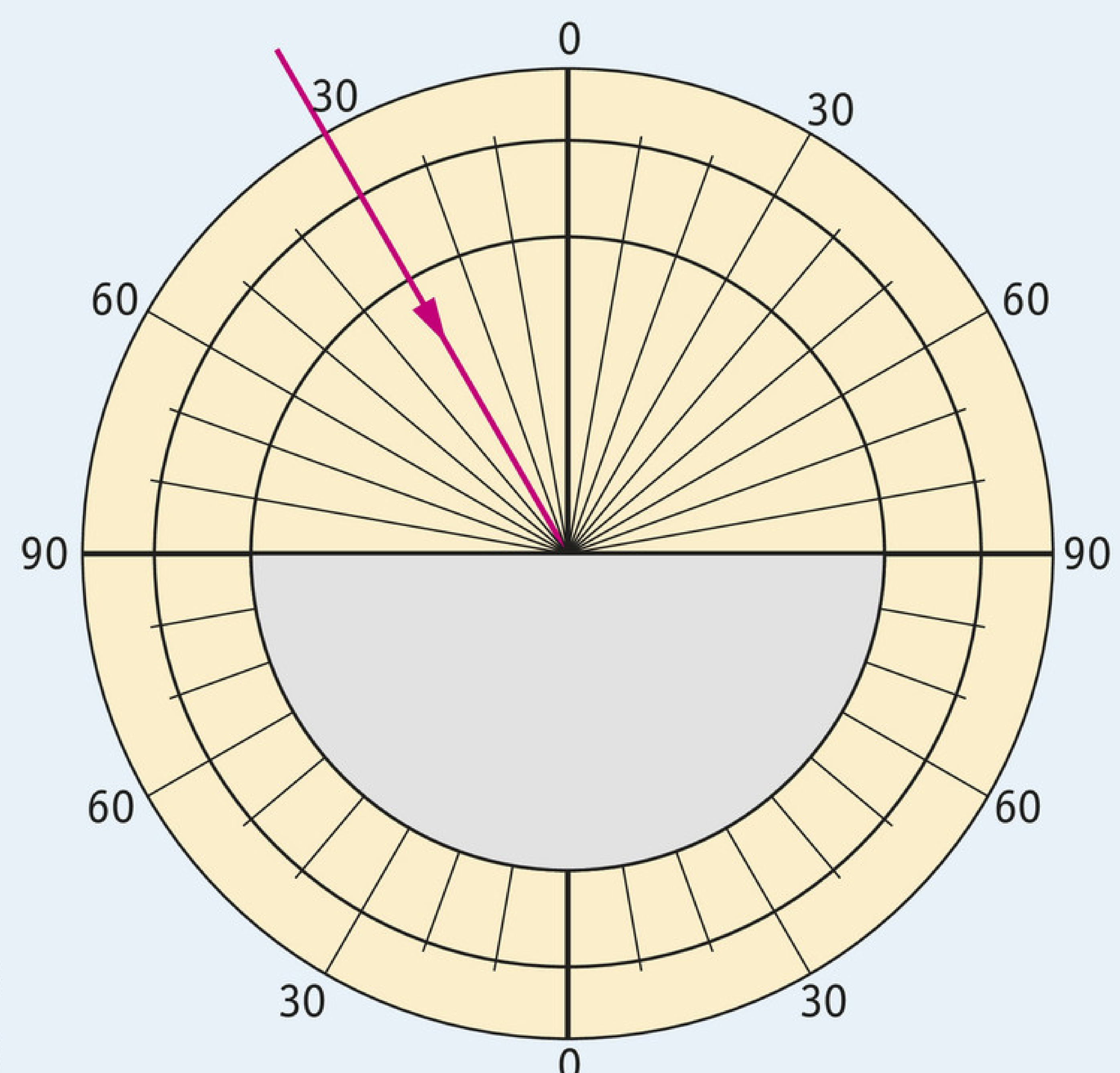
Nodig
- lichtkastje
- diafragma met één opening
- halfronde perspex schijf
- liniaal
- werkblad 3-13

Uitvoeren en uitwerken
Meten
- Laat een lichtstraal op de schijf vallen zodanig dat ∠*i* = 30° (figuur 48).
- Ga na dat de lichtbundel niet wordt gebroken aan de ronde kant van de halve cirkel.
- Ga na dat ∠*r* = 20°.
- Meet ∠*r* voor nog zeven andere waarden van ∠*i*. Zorg ervoor dat de waarden van ∠*i* niet te dicht bij elkaar liggen.

1 Maak een tabel met vijf kolommen en noteer je meetgegevens in kolom 1 en 2.

Uitwerken

2 Teken de assen, de schaalverdeling en de grafiek van je meetresultaten in tekening a van het werkblad. Zet ∠*i* langs de *x*-as.
3 Bereken bij elke ∠*i* de waarde van sin *i* en noteer die in kolom 3.
4 Bereken bij elke ∠*r* de waarde van sin *r* en noteer die in kolom 4
5 Bereken de waarde van sin *i* : sin *r* en noteer die in kolom 5.
6 Teken de assen, de schaalverdeling en de grafiek van je meetresultaten in tekening b van het werkblad. Zet sin *i* langs de x-as.
7 Beantwoord de onderzoeksvraag.



▶ **figuur 48**
de opstelling van proef 2

Proef 3 Het brandpunt bepalen 30 min

Inleiding
Als een evenwijdige lichtbundel loodrecht op een lens valt, wordt het licht gebroken naar één punt: het brandpunt F. De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt noem je de brandpuntsafstand *f*.

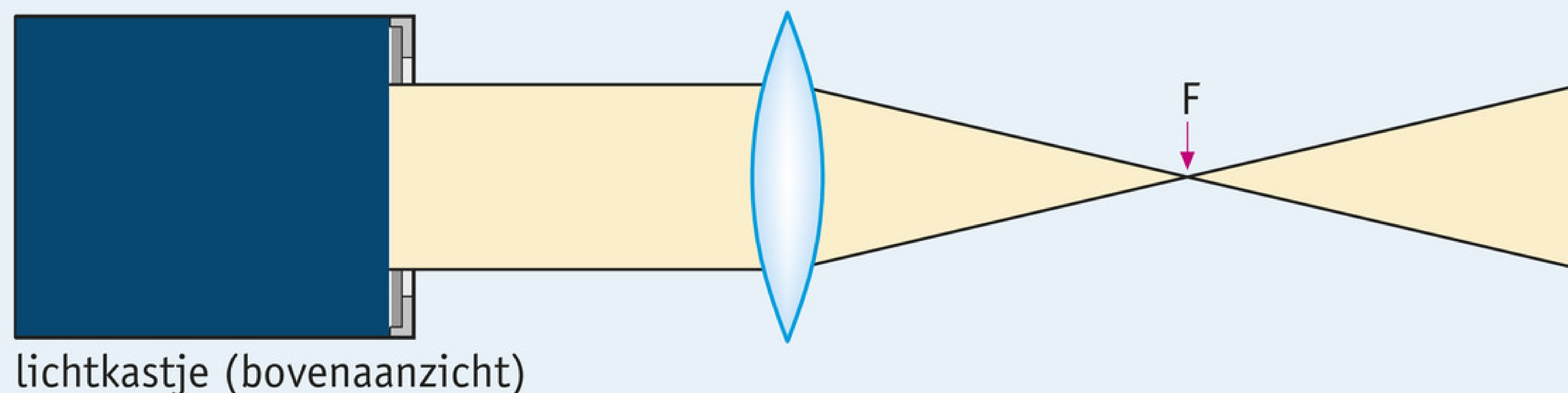
Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Komt de gemeten brandpuntsafstand overeen met de waarde die de fabrikant heeft opgegeven?

Nodig
- lichtkastje
- verschillende positieve schijflenzen
- negatieve schijflens
- vel wit papier

Uitvoeren en uitwerken

- Verschuif het lampje in het lichtkastje zo dat er een evenwijdige lichtbundel op het papier valt. De lichtbundel moet smaller zijn dan de kleinste lens. Controleer of de lichtbundel ook echt evenwijdig is.
- Zet een positieve lens op papier in de evenwijdige lichtbundel (figuur 49). Geef op het papier het brandpunt aan met de letter F.
- Markeer de plaats van de lens. Draai de lens om. Verandert daardoor de plaats van het brandpunt?
- Meet voor elke lens de waarde van de brandpuntsafstand.
- Plaats een negatieve lens in de lichtbundel. Bedenk hoe je dan de brandpuntsafstand bepaalt.

1 Rangschik de lenzen in volgorde van sterkte: de lens met de kleinste sterkte voorop.
2 Hoe had je van tevoren al kunnen voorspellen welke lens het sterkst was?
3 Beantwoord de onderzoeksvraag.



◀ **figuur 49**
Zo plaats je de positieve lens in de evenwijdige lichtbundel.

Proef 4 Beeldvorming bij een bolle lens 20 min

Inleiding

Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm. Als het beeld scherp is, komt al het licht uit een punt van het voorwerp via de lens bij elkaar in één punt op het scherm.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Hoe maakt een positieve lens een beeld op een scherm?

Nodig

- positieve lens (f = 10 cm)
- lenshouder
- scherm
- blokje met twee lampjes
- spanningsbron
- twee snoeren
- liniaal

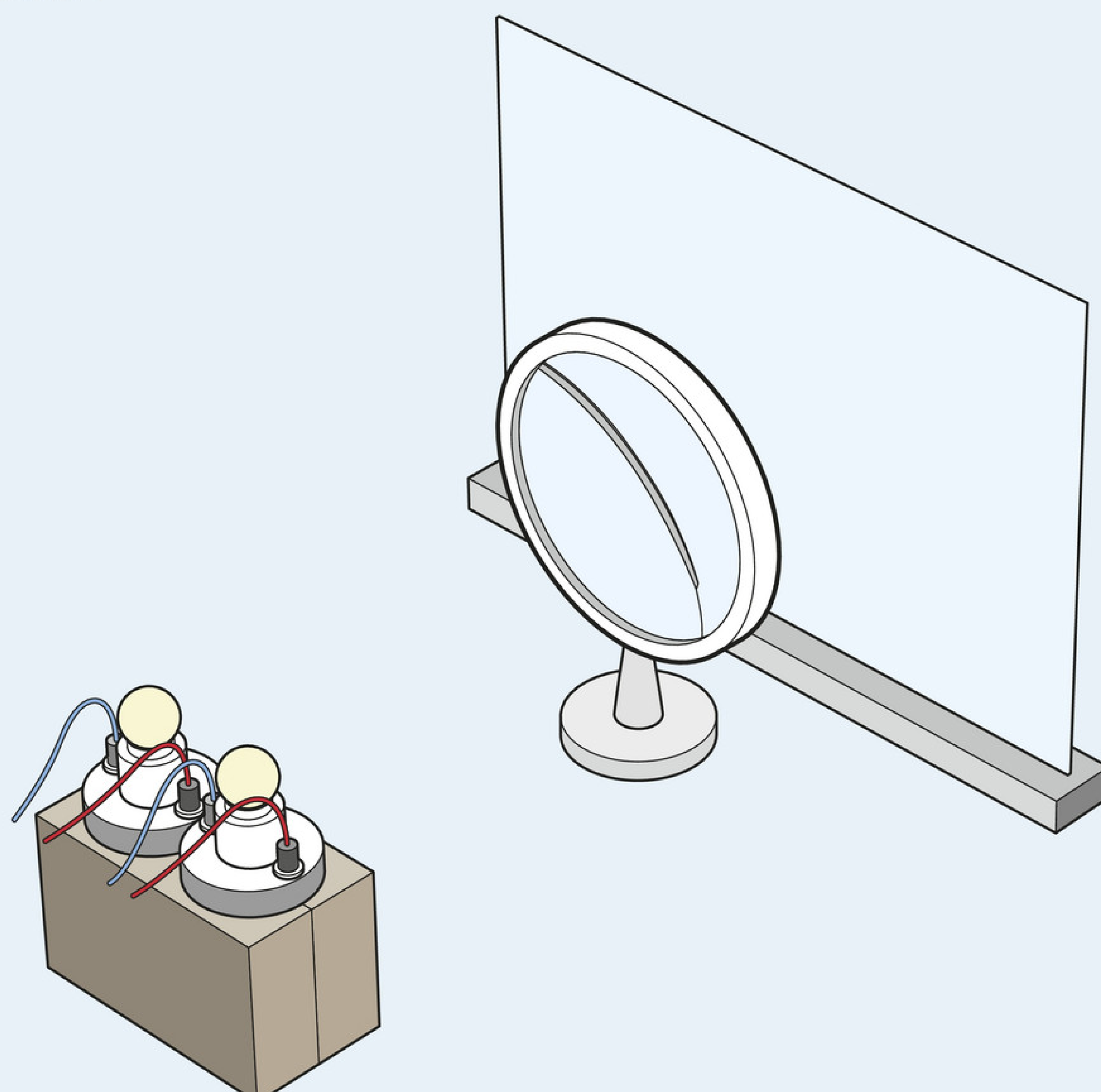
Uitvoeren en uitwerken

- Maak de opstelling van figuur 50.
- Zet de lens op 15 cm van het lampje.
- Zet het scherm 5 cm achter de lens.

1 Meet de doorsnede van een van de lichtvlekken op het scherm.

- Schuif het scherm 5 cm verder bij de lens vandaan.

2 Worden de lichtvlekken groter of kleiner?
3 Is de bundel bij het scherm divergerend of convergerend?



▶ **figuur 50**
de opstelling van proef 4

- Schuif het scherm verder naar achteren tot de lichtvlekken het kleinst zijn. Je ziet dan een scherp beeld van beide lampjes.

4 Worden de lampjes rechtop of ondersteboven afgebeeld?

- Dek het linkerlampje af met je hand.

5 Verdwijnt dan het linker- of het rechterlampje uit beeld?

- Houd het ene lampje boven het andere. Dek het bovenste lampje met je hand af.

6 Verdwijnt dan het onderste of het bovenste lampje uit beeld?

- Schuif het scherm nog 10 cm verder bij de lens vandaan. Bekijk de lichtvlekken die je nu op het scherm ziet.

7 Zijn de bundels op deze plaats divergent of convergent?

8 Lees je antwoorden op vraag 1 tot en met 7 nog eens door.
   a Beschrijf hoe de lichtvlekken veranderen als je het scherm steeds verder bij de lens vandaan schuift.
   b Leg uit hoe het komt dat de lichtvlekken zo veranderen. Gebruik de woorden ‘convergent’ en ‘divergent’. Tip: maak een schets bij je uitleg.
   c Leg met een tekening uit hoe je het resultaat van vraag 5 en 6 kunt begrijpen.
   d De lens maakt een scherp beeld. Dan vervang je de lens door een sterkere lens. Hoe moet je het scherm dan verschuiven om weer een scherp beeld te krijgen?

9 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 5 De lenzenformule 45 min

Inleiding

Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm. Het verband tussen de voorwerpsafstand *v*, de beeldafstand *b* en de brandpuntsafstand *f* wordt, bij een scherp beeld, gegeven door de lenzenformule:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Doel

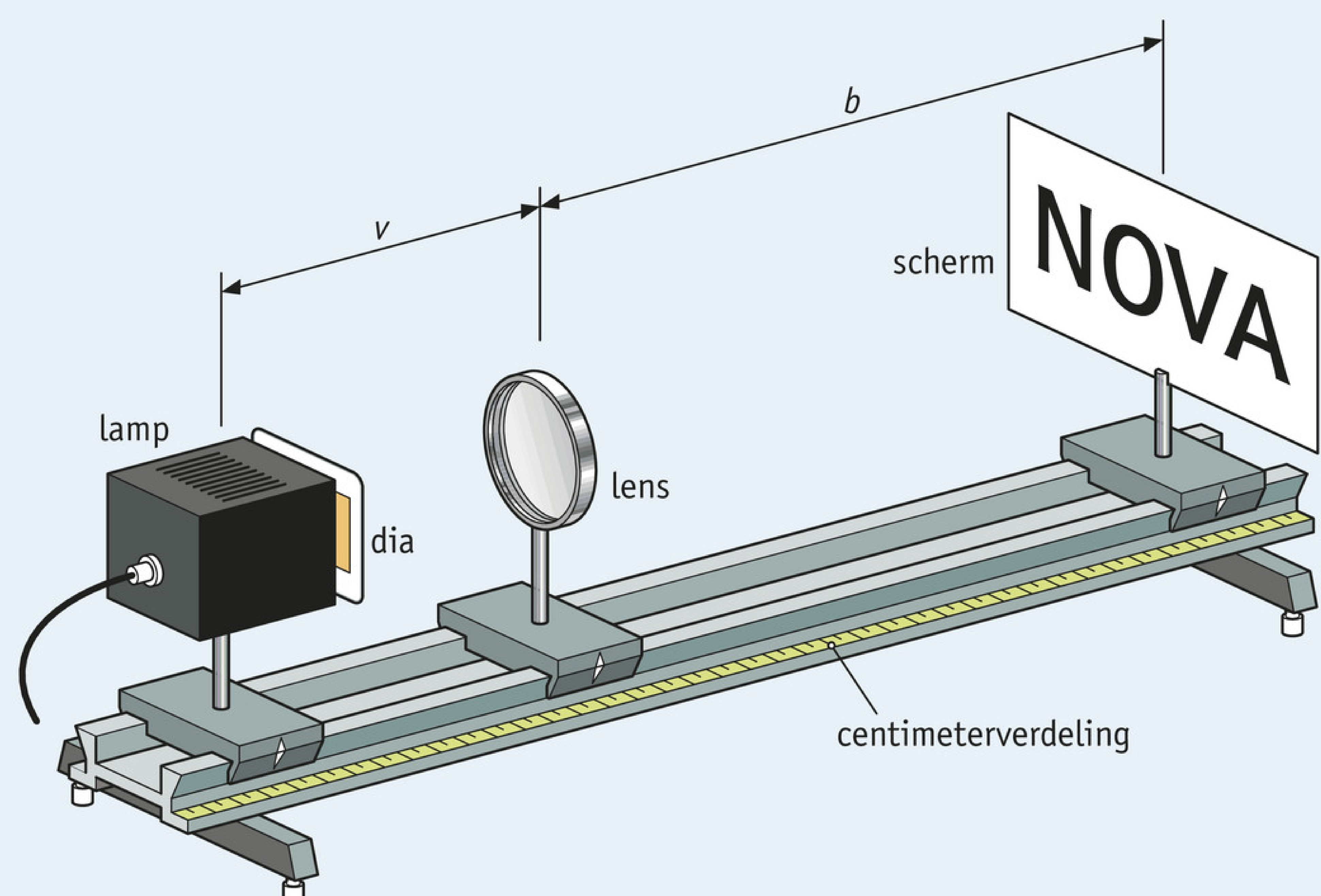
Je controleert de lenzenformule door een serie metingen te doen.

Nodig

- optische bank
- lichtbron met dia
- positieve lens (f = 10 cm)
- lenshouder
- scherm

Uitvoeren en uitwerken

- Maak de opstelling van figuur 51.
- Stel de voorwerpsafstand *v* in op 12,0 cm.
- Schuif het scherm heen en weer tot het beeld het scherpst is.
- Meet de beeldafstand *b*.



▲ **figuur 51**
de opstelling van proef 5

1 Neem tabel 5 over in je schrift.
Noteer de gemeten beeldafstand in kolom 2 van de tabel.

– Meet bij minstens vier andere waarden voor *v* tussen 12,0 en 30,0 cm de bijbehorende beeldafstand *b*.

▼ **tabel 5** de lenzenformule

1	2	3	4	5	6
v	*b*	1/*v*	1/*b*	1/*v* + 1/*b*	*f*
12,0					
enzovoort					

2 Noteer je meetwaarden in kolom 1 en 2 van de tabel.

Uitwerken

3 Vul de tabel nu verder in.
a Bereken 1/*v* en 1/*b* met je rekenmachine. Rond het resultaat af op drie cijfers achter de komma en noteer de waarde in de tabel.
b Vul kolom 5 in.
c Vul kolom 6 in en gebruik daarbij de 1/x-toets op je rekenmachine. Volgens de lenzenformule vind je zo de brandpuntsafstand.

4 Bereken het gemiddelde van de waarden van *f* en vergelijk die met de werkelijke waarde.

5 Bereken hoeveel procent jouw (gemiddelde) waarde er naast zat.

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: de brekingsindex bepalen 80 min

Inleiding

Vloeistoffen hebben ook een brekingsindex. Die van water weet je. Maar hoe kun je de brekingsindex van andere vloeistoffen bepalen?

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Hoe groot is de brekingsindex van terpentine en lampolie?

Uitvoeren en uitwerken

– Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat zoek je precies op en wat ga je meten? Hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Zie vaardigheid 1 achter in je boek.
Maak een werkplan voor dit onderzoek.

– De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan eventueel verbeteren.
– Voer vervolgens het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

3 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Tips

– Vraag je docent of je een laser of een laserpen mag gebruiken.
– Je kunt de lichtstraal zichtbaar maken door een wit metalen plaatje verticaal in het bakje met vloeistof te plaatsen. Het kan ook door een kleurstof toe te voegen aan de vloeistof.

Proef 7 Een ontwerp maken – 1: de sterrenkijker 90 min

Inleiding
Voor een sterrenkundeproject moet je een sterrenkijker ontwerpen, waarmee je naar de kraters op de maan kunt kijken.

Doel
Je gaat een sterrenkijker ontwerpen, bouwen en uitproberen. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- De sterrenkijker bestaat uit twee positieve lenzen.
- Als je door de kijker kijkt, zie je een scherp en vergroot beeld van de sterrenhemel.
- De sterrenkijker zit stevig in elkaar en is gemaakt van materialen die weinig of niets kosten.
- Je kunt de vergroting van de sterrenkijker veranderen met behulp van vervangbare of instelbare objectieflenzen.

Uitvoeren en uitwerken
– Zoek op internet informatie over sterrenkijkers die je zelf in elkaar kunt zetten. Ga na wat de functie van het oculair (de lens bij je oog) en het objectief (de lens bij het voorwerp) is en hoe je deze lenzen moet plaatsen om een scherp beeld te krijgen.

1 Zie vaardigheid 9 achter in je boek.
Maak een werkplan voor deze opdracht.

– De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan eventueel verbeteren.
– Bouw de sterrenkijker volgens de ontwerpeisen en probeer die uit.

2 Maak een testverslag met daarin:
a een bouwtekening van de sterrenkijker;
b een lijst met materialen;
c een beschrijving van de tests die je hebt uitgevoerd om een scherp beeld te krijgen;
d een duidelijke uitleg over de manier waarop je de vergroting kunt veranderen.

Proef 8 Een ontwerp maken – 2: de camera obscura 60 min

Inleiding
Een camera obscura is de voorloper van de fotocamera met lens.

Doel
Je bouwt zelf een camera obscura.

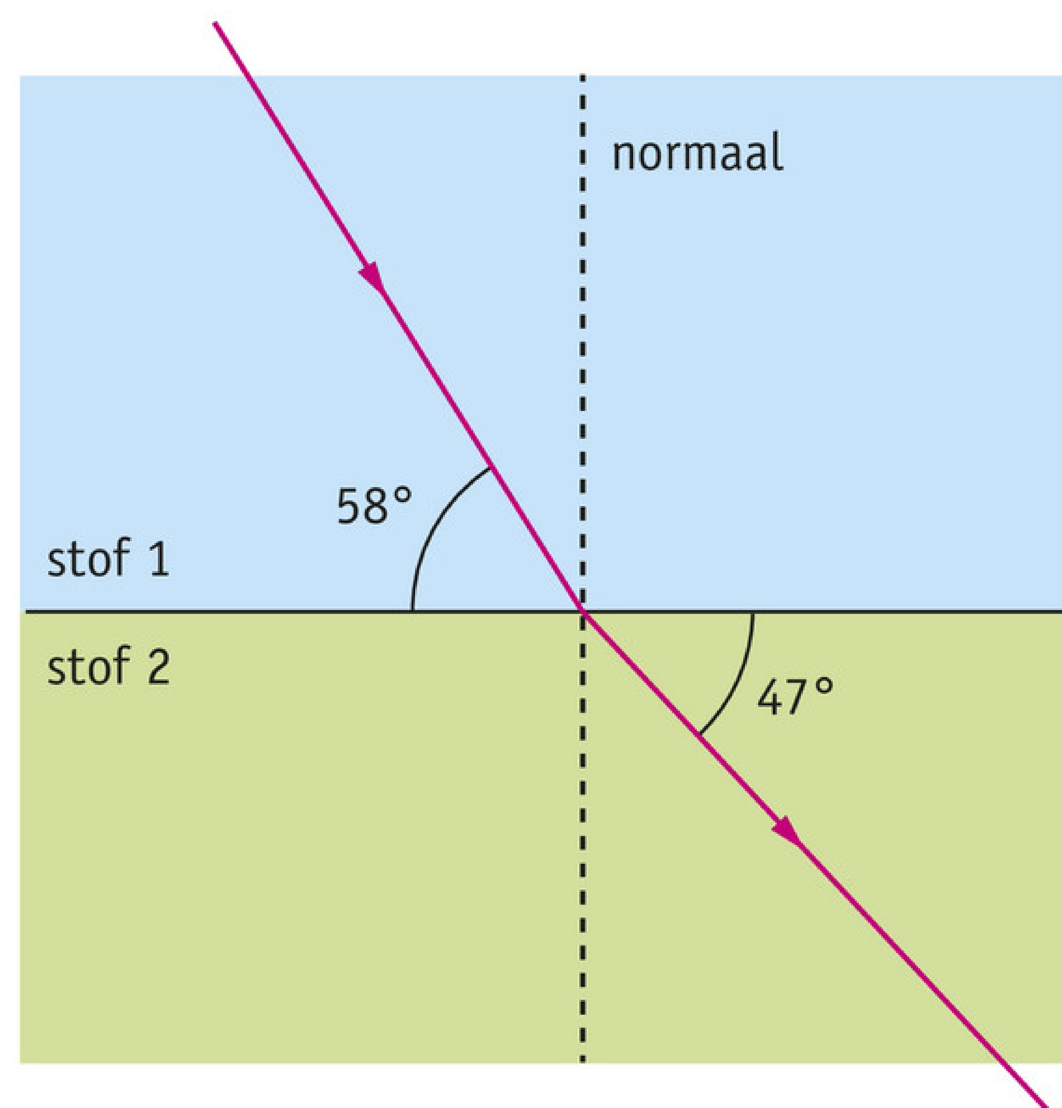
Uitvoeren en uitwerken
– Zoek op wat een camera obscura is.
– Zoek een eenvoudige bouwtekening en leg die voor aan je docent.
– Bouw de camera en test hem uit.
– Vergelijk de kwaliteit van jouw camera met die van andere groepjes.

Tips
– Het omhulsel van de camera obscura moet lichtdicht zijn.
– Zorg er bij het testen voor dat je zelf in het donker staat. Je kunt bijvoorbeeld een doek over je hoofd doen.
– Zie vaardigheid 9 achter in je boek.

Test Jezelf

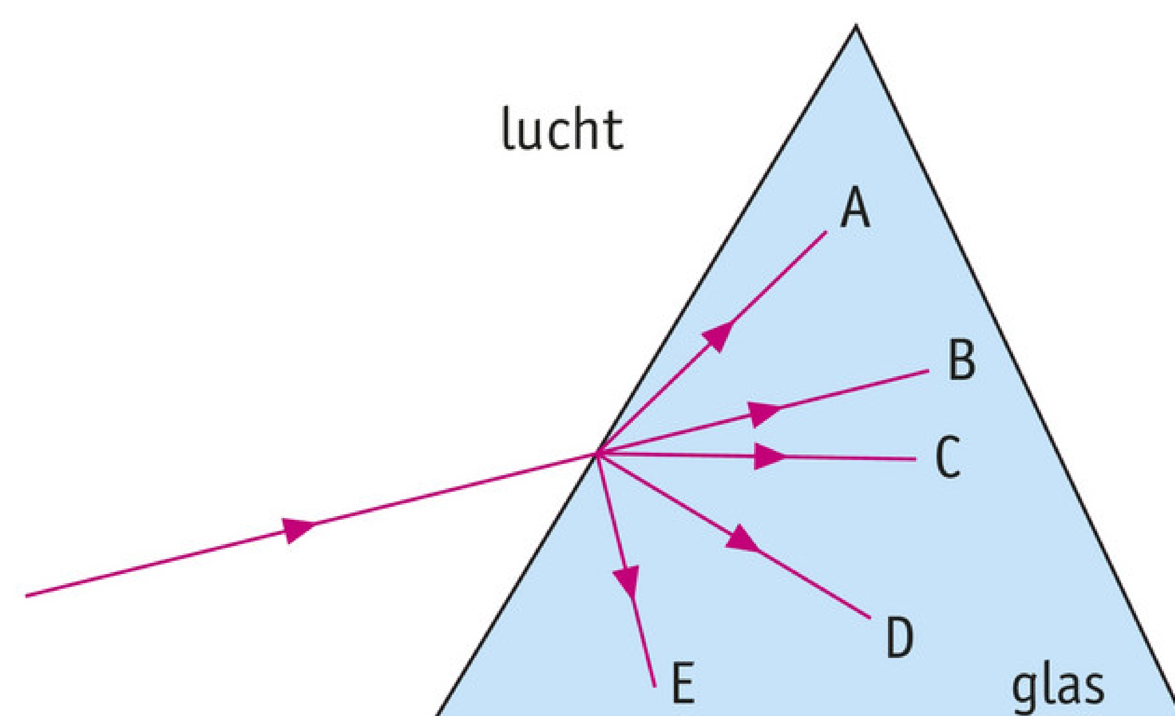
Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Een lichtstraal beweegt van stof 1 naar stof 2 (figuur 52). Een van de stoffen is lucht, de andere stof is glas.
- **a** Hoe groot is de hoek van inval?
- **b** Hoe groot is de hoek van breking?
- **c** Is stof 1 lucht of glas?



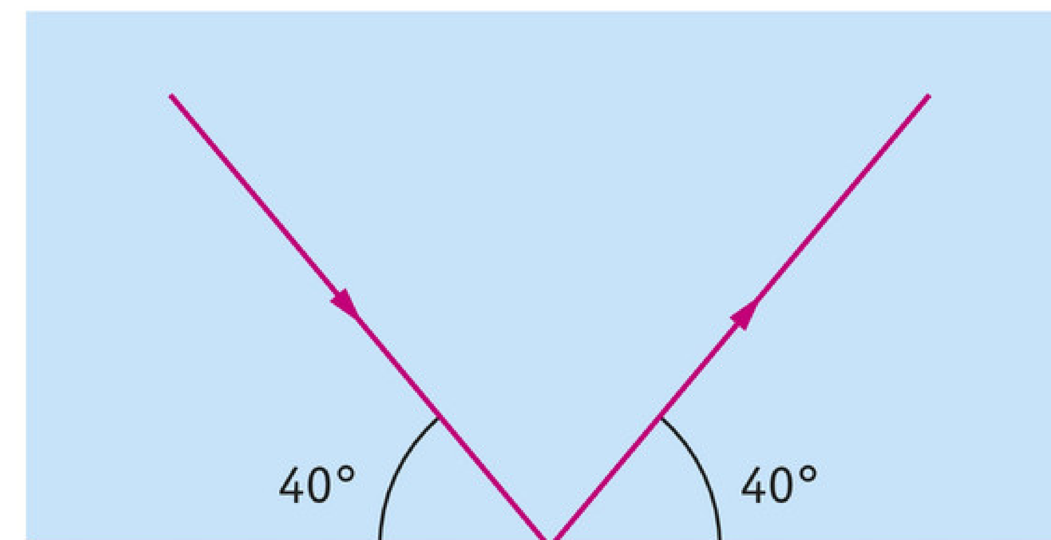
▲ figuur 52

2 Een lichtstraal valt op een glazen prisma (figuur 53).
Hoe beweegt de lichtstraal daarna verder: volgens A, B, C, D of E?



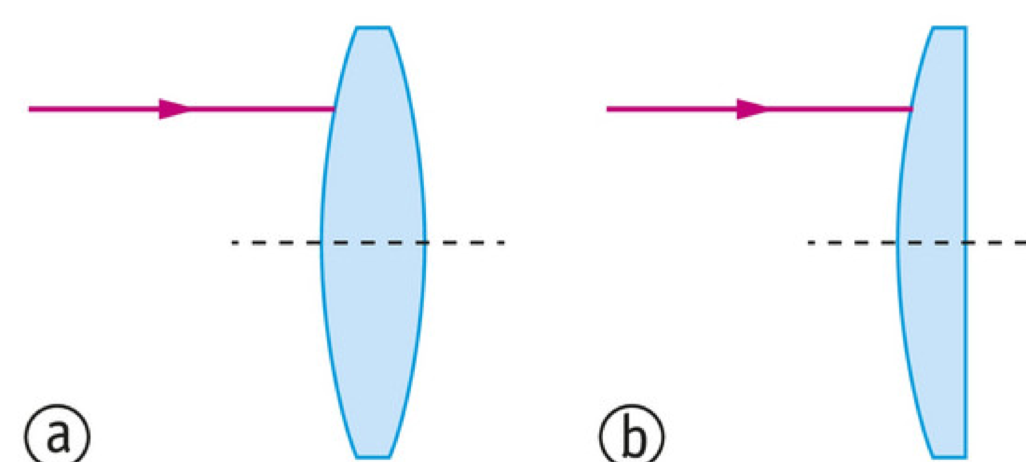
▲ figuur 53

3 Een lichtstraal gaat door een stuk glas zoals in figuur 54.
Wat kun je zeggen over de grenshoek?
- A De grenshoek is in elk geval groter dan 50°.
- B De grenshoek is in elk geval kleiner dan 50°.
- C De grenshoek is in elk geval kleiner dan 40°.
- D Je kunt niets over de grenshoek zeggen.



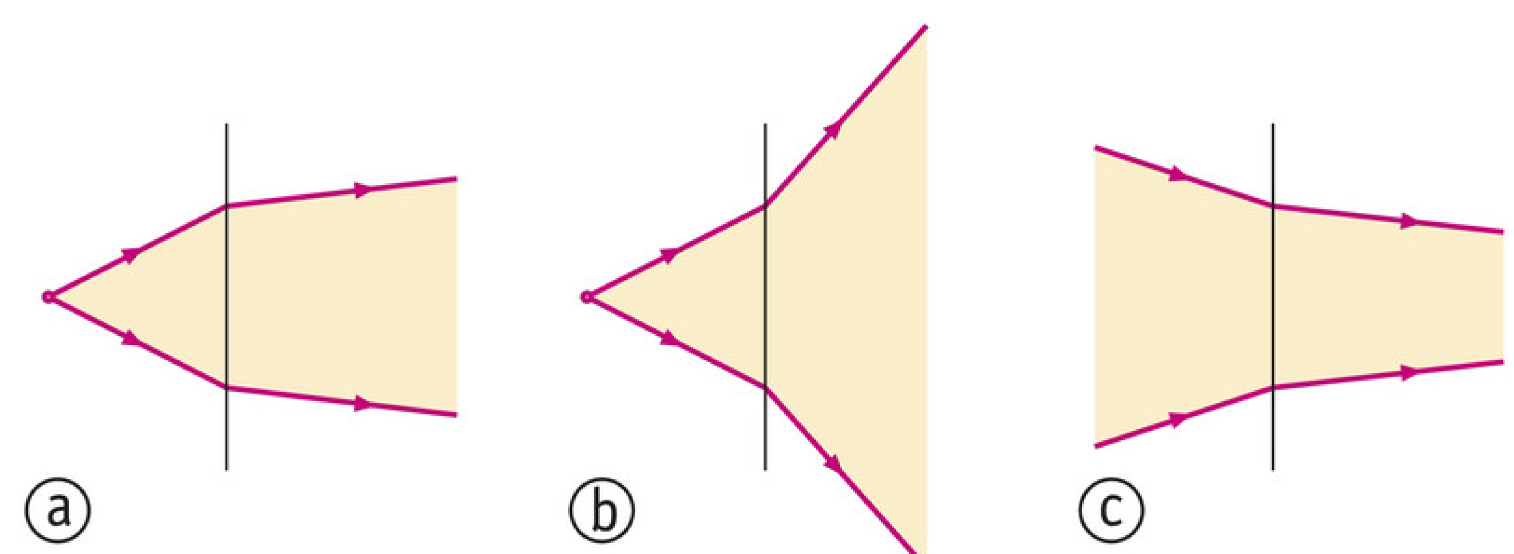
▲ figuur 54

4 In figuur 55 zie je twee lenzen.
- **a** Bij welke lens wordt de rode lichtstraal het sterkst gebroken?
- **b** Welke lens heeft de grootste brandpuntsafstand?



▲ figuur 56

5 In figuur 56 zie je hoe drie lenzen een invallende lichtbundel breken.
Geef van elke lens aan:
- of hij een convergerende of een divergerende werking heeft.
- of het om een negatieve of om een positieve lens gaat.



▲ figuur 55

6 Vanuit een klein lampje valt licht op een positieve lens. Het licht komt achter de lens weer samen in één punt.
Hoe noem je dit punt?

7 Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm.
Iris zegt: “Het beeld staat altijd ondersteboven.”
Marjolein zegt: “Het beeld is altijd verkleind.”
Wie heeft er gelijk?
A Iris en Marjolein hebben allebei gelijk.
B Iris heeft gelijk, Marjolein heeft ongelijk.
C Iris heeft ongelijk, Marjolein heeft gelijk.
D Iris en Marjolein hebben allebei ongelijk.

8 Zoë maakt met een positieve lens een beeld van een lampje op een scherm. De afstand tussen het lampje en de lens is 15 cm. Tussen het scherm en de lens is dat 7,5 cm.
Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

9 Alex laat foto’s zien met een beamer. De foto op het scherm is 180 cm breed en 135 cm hoog. De vergroting is 60×.
Bereken de oppervlakte van de foto op het lcd-schermpje van de beamer.

10 Nick heeft een opstelling gemaakt met een positieve lens (f = 12 cm). Voor de lens staat een 10 cm hoge, brandende kaars. Op een scherm dat 36 cm achter de lens staat, is een scherp beeld van de kaarsvlam te zien.
a Bereken de voorwerpsafstand.
b De vlam van de kaars is 1,4 cm hoog.
Bereken de grootte van het beeld.

11 Inge loopt in Rotterdam en bewondert de Euromast. Dan zoekt ze informatie over de Euromast op haar telefoon.
a Worden Inges ooglenzen boller of minder bol als ze haar blik op het scherm richt?
b Wordt de sterkte van haar ooglenzen daardoor groter of juist kleiner?

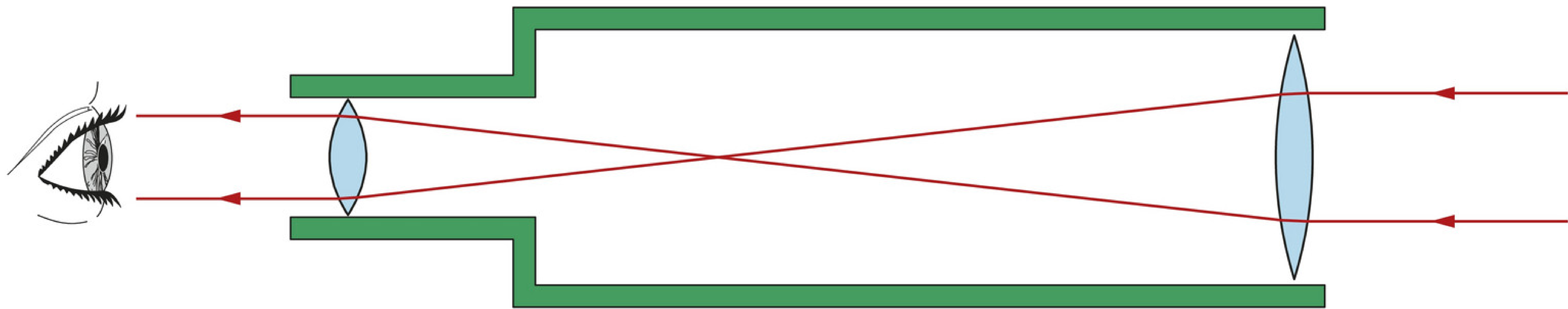
12 Pauliens eigen ooglenzen breken het licht niet sterk genoeg. Ze draagt daarom contactlenzen.
a Hoe heet de oogafwijking van Paulien: bijziendheid of verziendheid?
b Zijn de contactlenzen die Paulien draagt, positief of negatief?

13 Het linkerglas in de bril van Robert heeft een brandpuntsafstand van 40 cm.
Bereken de sterkte van het brillenglas.

14 De sterkte van het ongeaccommodeerde oog van Naima is 50 dpt.
Bereken de afstand tussen ooglens en netvlies in mm.

15 Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.
a Je ogen stellen scherp door de beeldafstand b aan te passen aan de situatie.
b Het veranderen van vorm van de ooglens wordt accommoderen genoemd.
c Je ooglenzen zijn het platst als je iets van heel dichtbij bekijkt.
d Als iemand verziend is, zijn de ooglenzen te sterk.
e Iemand die bijziend is, heeft positieve brillenglazen of contactlenzen nodig.

16 Fatima laat met een beamer foto’s zien. Het projectiescherm staat op 8,0 m van de lens en er ontstaat een 70× vergroot beeld.
Bereken de brandpuntsafstand, in cm en in twee cijfers nauwkeurig.



▶ figuur 57

17 In figuur 57 zie je een vereenvoudigde tekening van een telescoop.

- **a** Welke lens heeft de grootste diameter: het objectief of het oculair?
- **b** Welke lens breekt het licht het sterkst?
- **c** De brandpuntsafstand van de ene lens is een kwart van die van de andere lens. Hoeveel keer vergroot deze telescoop?
- **d** Waarom is de rechterlens zo groot?

18 Bij deze opgave heb je werkblad 3-14 nodig.
Heleen doet een proef met een optische bank. Op het werkblad is haar proefopstelling schematisch getekend.

- **a** Construeer het beeld van de pijl.
- **b** Bepaal de vergroting.
- **c** Hoe groot wordt de vergroting als het voorwerp 2× zo lang wordt?

19 Bij deze opgave heb je werkblad 3-15 nodig.
Een beamer projecteert een afbeelding op een smartboard voor in de klas. Op het werkblad zijn het smartboard en het lcd-schermpje in de beamer schematisch getekend. Het beeld vult het hele smartboard tot aan de randen.

- **a** Gebruik de constructiestralen om erachter te komen:
  - waar de lens zich bevindt.
  - waar het brandpunt ligt.
- **b** Teken de lens op de juiste plaats als een verticale streep.
- **c** Zet een stip op de plaats van het brandpunt en zet er een hoofdletter F bij.

20 In figuur 58 zijn meneer en mevrouw De Bok samen op vakantie.

- **a** Leg uit wie van hen tweeën last zou kunnen hebben:
  - van bijziendheid.
  - van oudziendheid.
  - van verziendheid.
- **b** Wie van de twee zou het volgende probleem kunnen hebben: de oogspiertjes kunnen de ooglenzen niet meer genoeg laten bollen?



▲ figuur 58

21 Bij deze opgave heb je werkblad 3-16 nodig.
In de figuur op het werkblad wordt een lichtstraal uit punt L gebroken door de lens. De figuur is op ware grootte.

- **a** Leg uit of de lens positief of negatief is.
- **b** Construeer op het werkblad het beeldpunt van L.
- **c** Bepaal de plaats van het brandpunt van deze lens.



Hoe werkt ... een camera?

Met een goede camera kun je haarscherpe foto's maken. Hoe scherp het beeld is, zie je pas als je zo'n foto vergroot bekijkt. Je ontdekt dan allerlei details die zonder vergroting nauwelijks te zien zijn. Om zo'n foto te maken, hoef je geen vakkundige fotograaf te zijn. Goed kijken en klikken, meer hoef je niet te kunnen. De camera zit vol technologie die het werk voor jou doet.





Het hart van de camera is een beeldchip van maximaal 2,4 bij 3,6 cm, maar meestal is die nog veel kleiner. De beeldchip is verdeeld in miljoenen gebiedjes: de pixels. Als je een foto maakt, legt elke pixel een klein stukje van het beeld vast.
De computer in de camera verwerkt de informatie van de pixels op de beeldchip tot één bestand. Je kunt dit bestand op je computer zetten en dan bekijken bij een sterke vergroting. Dan zie je dat het beeld bestaat uit allemaal losse ‘blokjes’. Dat zijn de pixels waaruit het beeld is opgebouwd.

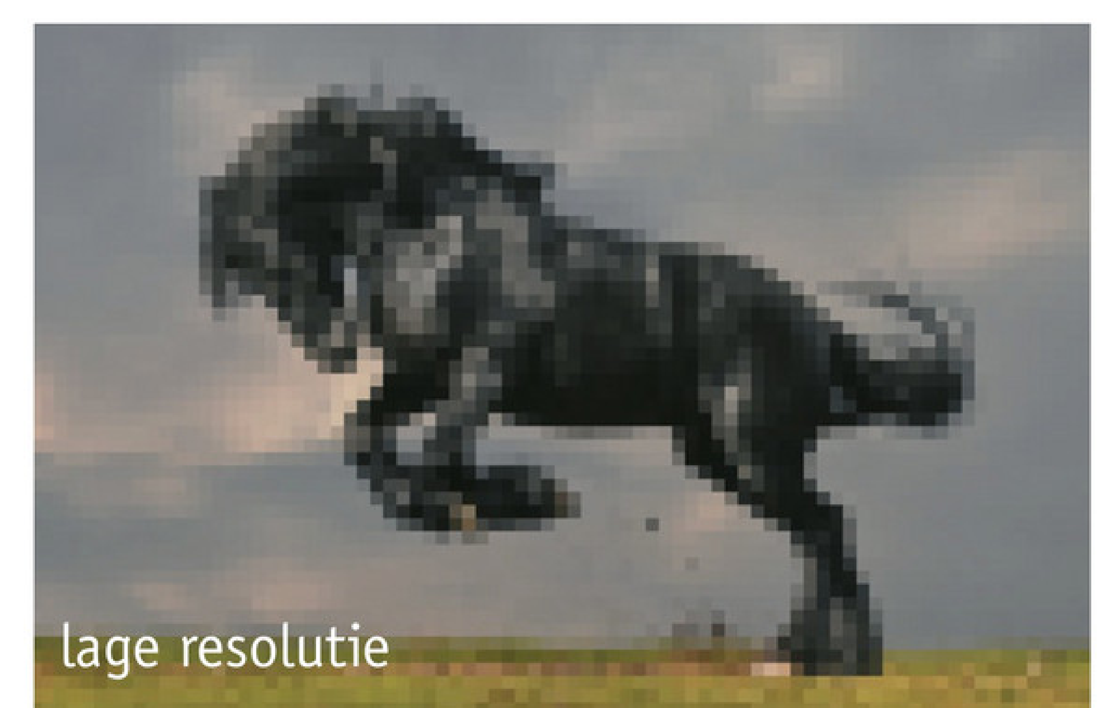
Het aantal pixels waaruit het beeld bestaat, noem je de resolutie. Hoe hoger de resolutie, des te meer detail het beeld kan bevatten. Dat lukt alleen bij een scherpe foto. Als je een onscherpe foto vergroot, zie je geen duidelijke details, maar alleen vage kleurvlekken.

Bij camera’s wordt de resolutie gegeven in megapixels. Een camera van 25 megapixel (25 MP) maakt foto’s die bestaan uit 25 miljoen pixels. Zo’n foto kun je flink vergroten zonder dat de kwaliteit van het beeld merkbaar achteruitgaat.

Kleuren weergeven

Een populair bestandsformaat voor foto’s is het jpeg-bestand. Daarin worden voor elke pixel drie getallen vastgelegd: het eerste getal geeft de hoeveelheid rood licht aan, het tweede de hoeveelheid groen licht en het derde de hoeveelheid blauw licht. Daarmee kan een beeldscherm, dat ook met rood, groen en blauw licht werkt, de foto correct weergeven.
Je zou denken dat er drie soorten pixels op de beeldchip zitten. Elke soort is dan gevoelig voor rood of groen of blauw licht. Maar dat is niet zo. Pixels zijn kleurenblind: ze reageren alleen op de intensiteit van het licht. Om de kleuren in het beeld toch te kunnen vastleggen, wordt een kleurfilter gebruikt. De meeste camera’s hebben een filter dat uit rode, groene en blauwe blokjes bestaat. Boven elke pixel op de beeldchip zit precies één blokje. Elke pixel heeft dus zijn


hoge resolutie


lage resolutie

eigen filterblokje waardoor hij licht ontvangt. De rode blokjes laten (bijna) alleen rood licht door. De pixels onder een rood blokje leggen dus alleen informatie vast over de hoeveelheid rood licht. De pixels onder een groen blokje doen dat met groen licht, en de pixels onder een blauw blokje met blauw licht. Elke pixel geeft dus maar informatie over één kleur licht: rood, groen of blauw.
Er is een complexe computerbewerking voor nodig om het beeld compleet te maken. De software gebruikt de informatie van aangrenzende pixels om de twee ontbrekende kleurwaarden te berekenen. Op die manier kunnen voor elke pixel drie kleurwaarden worden vastgelegd.

Hoe groter de resolutie, des te meer detail kan het beeld laten zien.

Scherpstellen

Een camera stelt anders scherp dan je ogen dat doen. Je ooglenzen focussen door van vorm te veranderen: ze worden boller of juist platter. Een camera stelt scherp door de lens te verplaatsen: naar de beeldchip toe of bij de beeldchip vandaan. Als de camera op autofocus staat, zet een klein motortje de lens automatisch op de juiste afstand. Zo'n scherpstelsysteem kan op twee manieren werken: met een contrastmeting of met een afstandsbepaling met infrarode straling.

- Bij een contrastmeting meet de camera van een horizontale rij pixels hoeveel contrast er tussen opeenvolgende pixels zit. Bij een vage foto veranderen de pixels geleidelijk van donker naar licht. Bij een scherpe foto is het contrast veel groter. Tijdens het scherpstellen schuift het motortje de lens heen en weer, totdat het contrast maximaal is.

- Bij het infraroodsysteem zendt een ir-bron in de camera ir-straling uit, die daarna wordt weerkaatst door het voorwerp. Een ir-sensor ontvangt het weerkaatste signaal zodat de computer de afstand tot het voorwerp kan uitrekenen. Het motortje zet de lens daarna op de juiste plek.

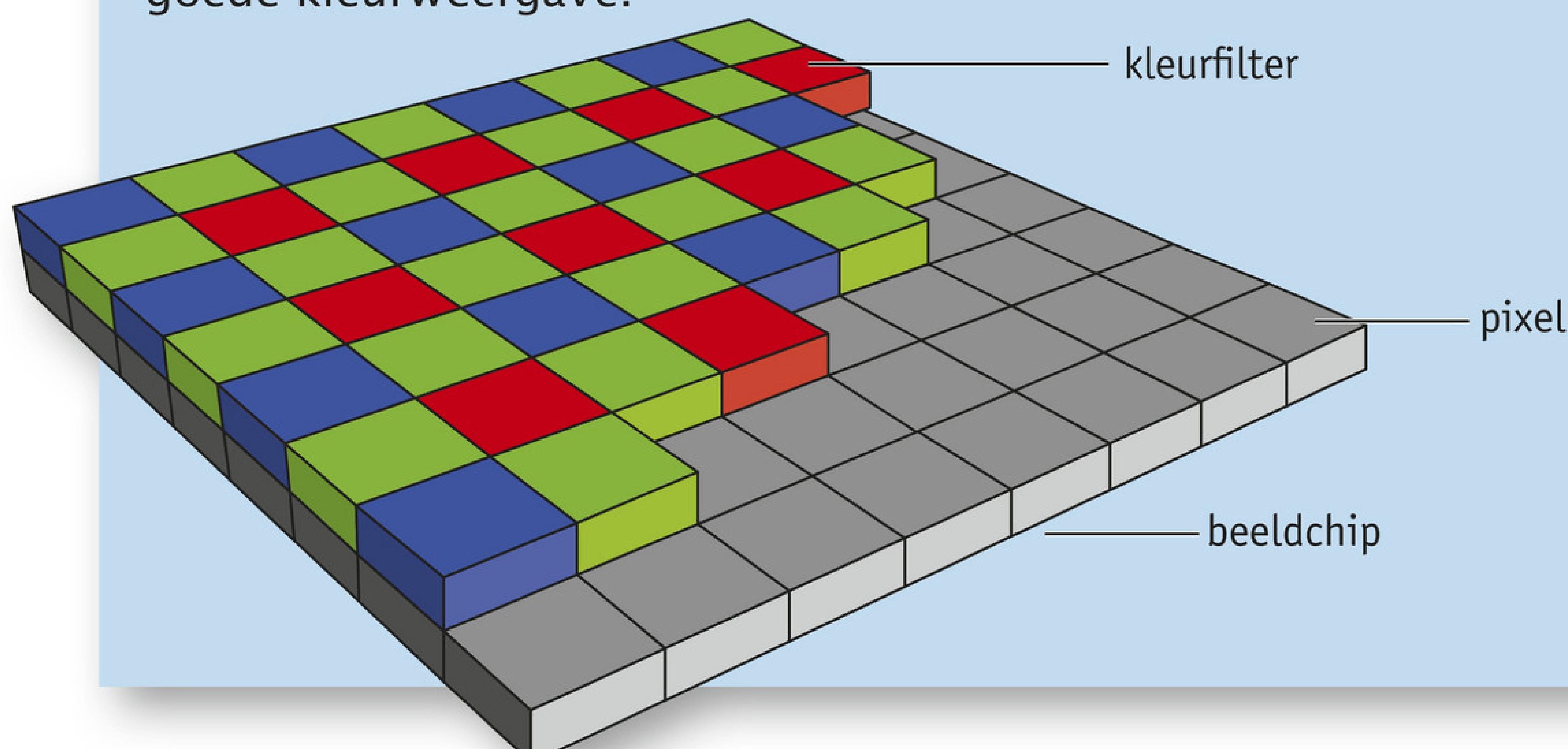
Een systeem met contrastmeting werkt wel sneller dan een systeem met afstandsmeting, maar werkt niet goed als er weinig licht is. Het hele beeld is dan donker en er zijn nergens sterke contrasten. Het infraroodsysteem werkt altijd, ook als er weinig licht is.

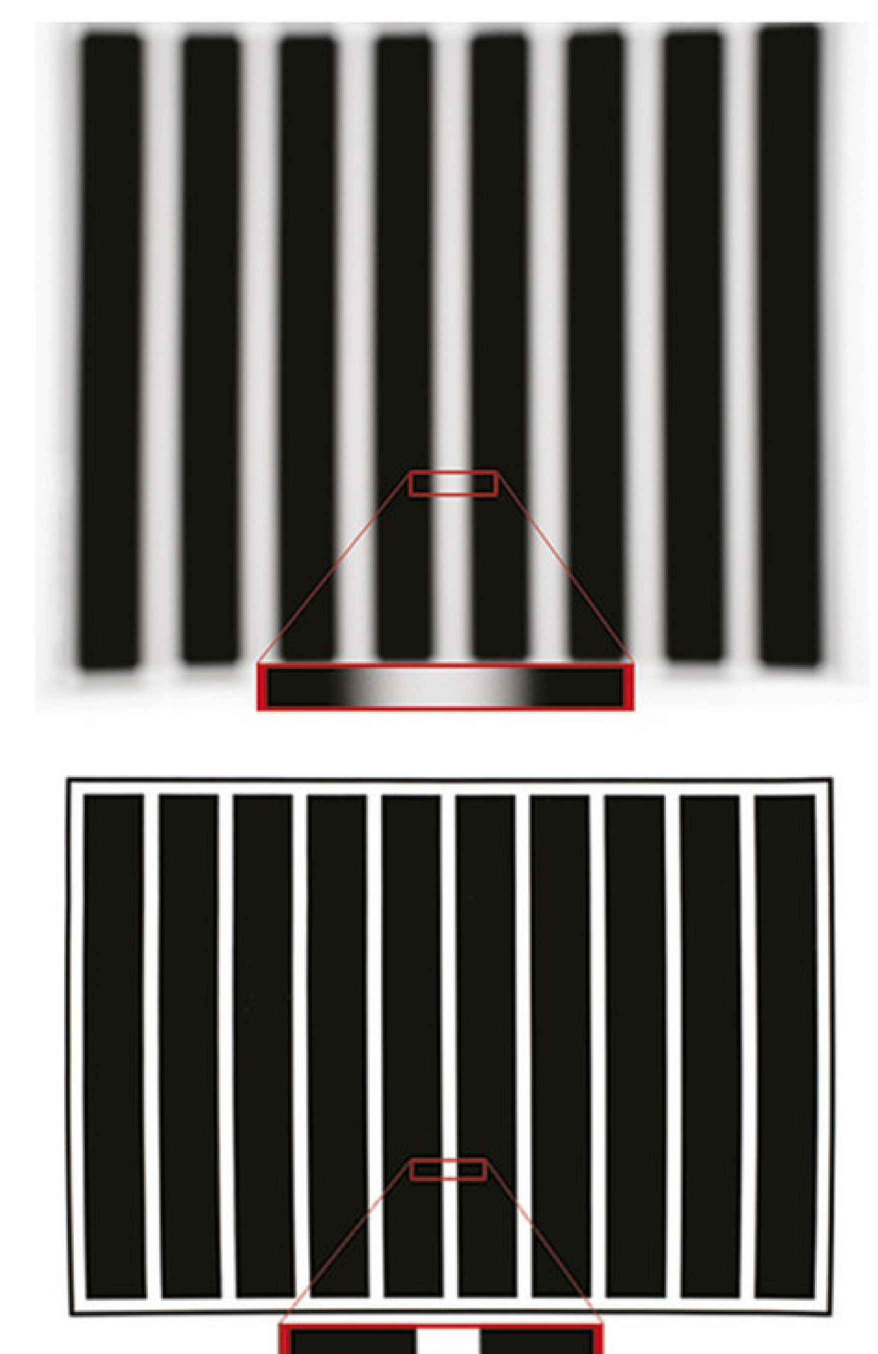
Optische en digitale zoom

Vaak wil je het beeld 'dichterbij halen' voordat je een foto neemt. Dat dichterbij halen noem je zoomen (spreek uit: *zoemen*). Met een camera met een zoomfactor van 10× kun je het beeld 10× zo dicht naar je toe halen. Het beeld wordt dan groter, maar je ziet

ZESTIEN MILJOEN KLEUREN

De getallen die in een jpeg-bestand worden vastgelegd, lopen van 0 tot 255. De intensiteit van rood kan in 256 gradaties worden vastgelegd: van 0 (geen rood) tot 255 (rood op volle sterkte). Hetzelfde geldt voor groen en blauw. Er kunnen dus in totaal 256 × 256 × 256 verschillende mengkleuren vastgelegd worden: meer dan 16 miljoen in totaal. Dat is als regel voldoende voor een goede kleurweergave.





minder op de foto. Het gezichtsveld is dan kleiner.

Er zijn twee soorten zoom:

- *Optische zoom*. Voor het gemak spreek je bij een camera over dé lens. In werkelijkheid is het niet één lens, maar een systeem van lenzen. Door de lenzen onderling te verschuiven, kun je een vergroot beeld maken. Zo kun je zoomen zonder dat de resolutie – en dus de kwaliteit – van het beeld daaronder lijdt.
- *Digitale zoom*. Bij de digitale zoom wordt een deel uit het oorspronkelijke beeld 'geknipt' en vervolgens softwarematig vergroot. Dat is een goedkope oplossing, maar het gaat wel ten koste van de resolutie – en dus ook van de scherpte – van het beeld. Als jij een deel van een foto uitvergroot met een fotobewerkingsprogramma, doe je eigenlijk precies hetzelfde.

Alle technologie in de camera stelt jou in staat om je te concentreren op het onderwerp: de scène die je fotografeert. Jij beslist wát er wordt vastgelegd en wanneer, en bepaalt zo de compositie van het beeld. Dat kan geen enkele camera van je overnemen.



WEETJE

Het verplaatsen van de lens om scherp te stellen komt ook in de natuur voor: vissen en kikkers stellen scherp door de afstand tussen de ooglens en het netvlies te variëren. Als een vis wil focussen op iets wat zich vlak voor hem bevindt, trekt een speciale spier de ooglens iets naar voren, zodat de afstand lens-netvlies groter wordt.

Opgaven

1 Xavier heeft een camera van 5,1 MP. Hij bekijkt de foto's op een beeldscherm met een resolutie van 1280 × 1024.
Kan dit beeldscherm de foto's van Xaviers camera even scherp weergeven als ze in werkelijkheid zijn? Leg uit.

2 Je hebt een camera waarmee je ook zwart-wit foto's kunt maken.
Hoe verandert de resolutie als je de camera van kleur op zwart-wit zet?

3 Als het voorwerp voor de lens veel horizontale lijnen heeft, lukt het een camera soms niet om scherp te stellen.
Leg uit hoe dat komt.

4 Bij optisch zoomen verandert de brandpuntsafstand van het lenzenstelsel.
a Moet je de brandpuntsafstand dan groter maken of kleiner? Leg je antwoord uit.
b Hoe verandert dan de grootte van het gezichtsveld?
c Verandert de brandpuntsafstand ook bij digitaal zoomen?

5 Als je een foto met anderen deelt op internet, is het aan te raden de resolutie eerst flink te verlagen. Vaak doet de applicatie die je gebruikt, dat uit zichzelf al.
Welke twee voordelen heeft het om de resolutie te verlagen?

6 In het artikel staat een afbeelding met de pixels van drie kleuren.
a Hoeveel groene en hoeveel blauwe pixels heeft een rode pixel als buren?
b Hoe zou je voor de rode pixel een waarde voor groen en een voor blauw kunnen berekenen?


OK

4 Energie

Verwarmen en isoleren

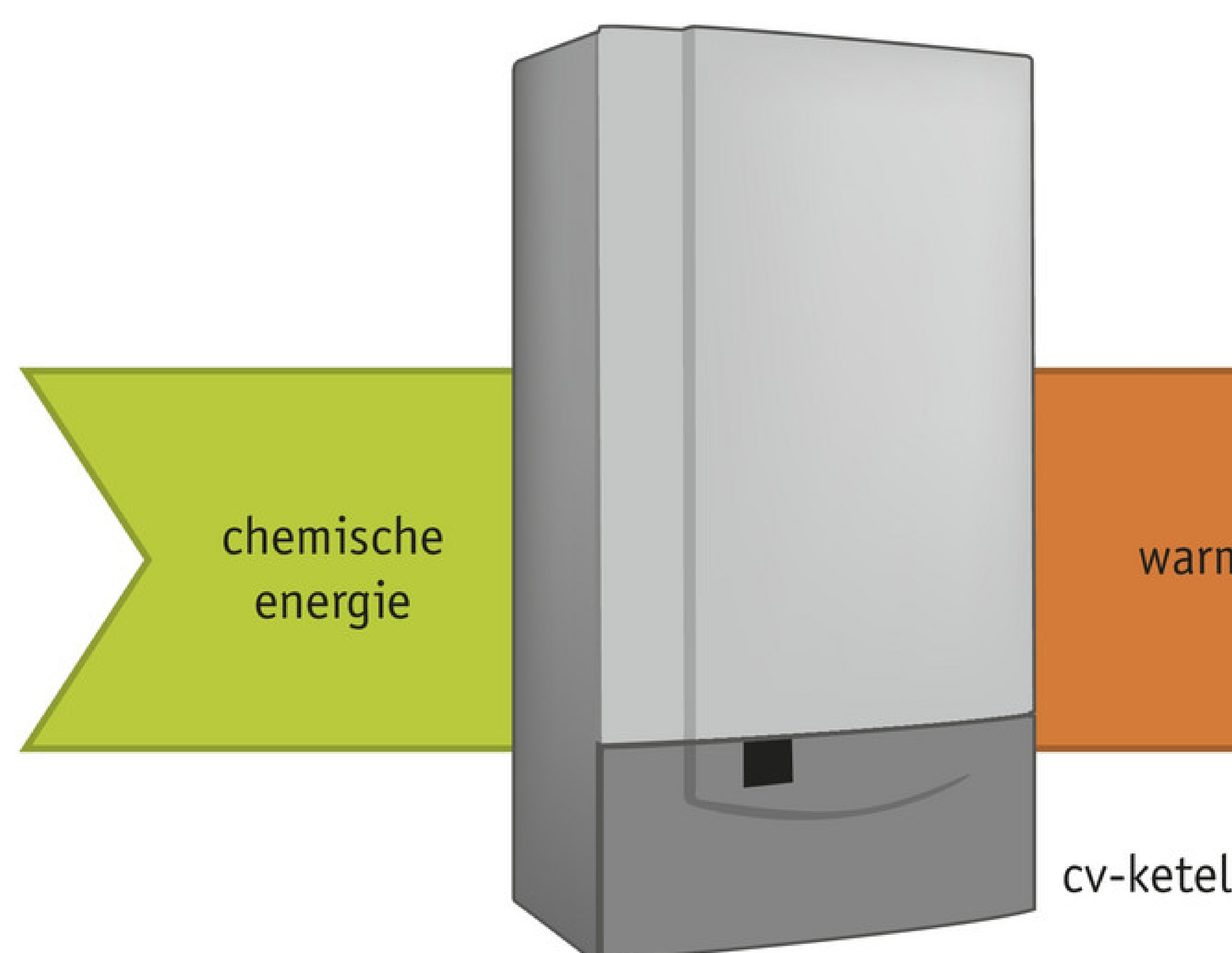
Mensen willen comfortabel wonen. Ook al is het buiten koud, binnen moet het lekker warm zijn. Tegelijk willen mensen hun energierekening laag houden. Dat is niet alleen goed voor hun portemonnee, maar ook voor het milieu.

1 Verwarmen

Door heel Nederland liggen leidingen van het aardgasnetwerk. Daarmee worden huishoudens en bedrijven voorzien van chemische energie. Een flink deel van die energie wordt gebruikt in warmtebronnen, zoals ovens, ketels en kachels. Die leveren de warmte die nodig is om gebouwen te verwarmen, water heet te maken en voedsel te bereiden.

Energie-omzettingen

In de combiketel van een cv-installatie wordt aardgas verbrand. De **chemische energie** in de brandstof wordt dan omgezet in **warmte**. Zo'n **energie-omzetting** kun je weergeven in een **energie-stroomdiagram**, zoals in figuur 1 is getekend. De pijl links stelt de energie voor die de warmtebron opneemt (verbruikt). De pijl rechts stelt de energie voor die de warmtebron afstaat (levert). Bij een energie-omzetting verdwijnen energiesoorten en komen er andere energiesoorten voor in de plaats. De **wet van behoud van energie** geeft aan dat de totale hoeveelheid energie daarbij niet verandert. Er gaat dus geen energie verloren bij een energie-omzetting. De pijlen in een energie-stroomdiagram zijn daarom links en rechts even breed.



▲ figuur 1
het energie-stroomdiagram van een cv-ketel

De combiketel gebruikt gas (chemische energie) en levert warm water (warmte). Gas kun je voor veel doelen gebruiken, bijvoorbeeld om een elektriciteitscentrale te laten werken. Warm water kun je alleen gebruiken om te verwarmen. De **kwaliteit van een energiesoort** geeft aan hoe bruikbaar de energiesoort is. Bij een energie-omzetting blijft de totale hoeveelheid energie wel even groot, maar daalt de kwaliteit ervan. Het energieprobleem is dus niet een tekort aan energie, maar een tekort aan energie met een hoge kwaliteit.



▲ figuur 2
water verwarmen voor een kop thee

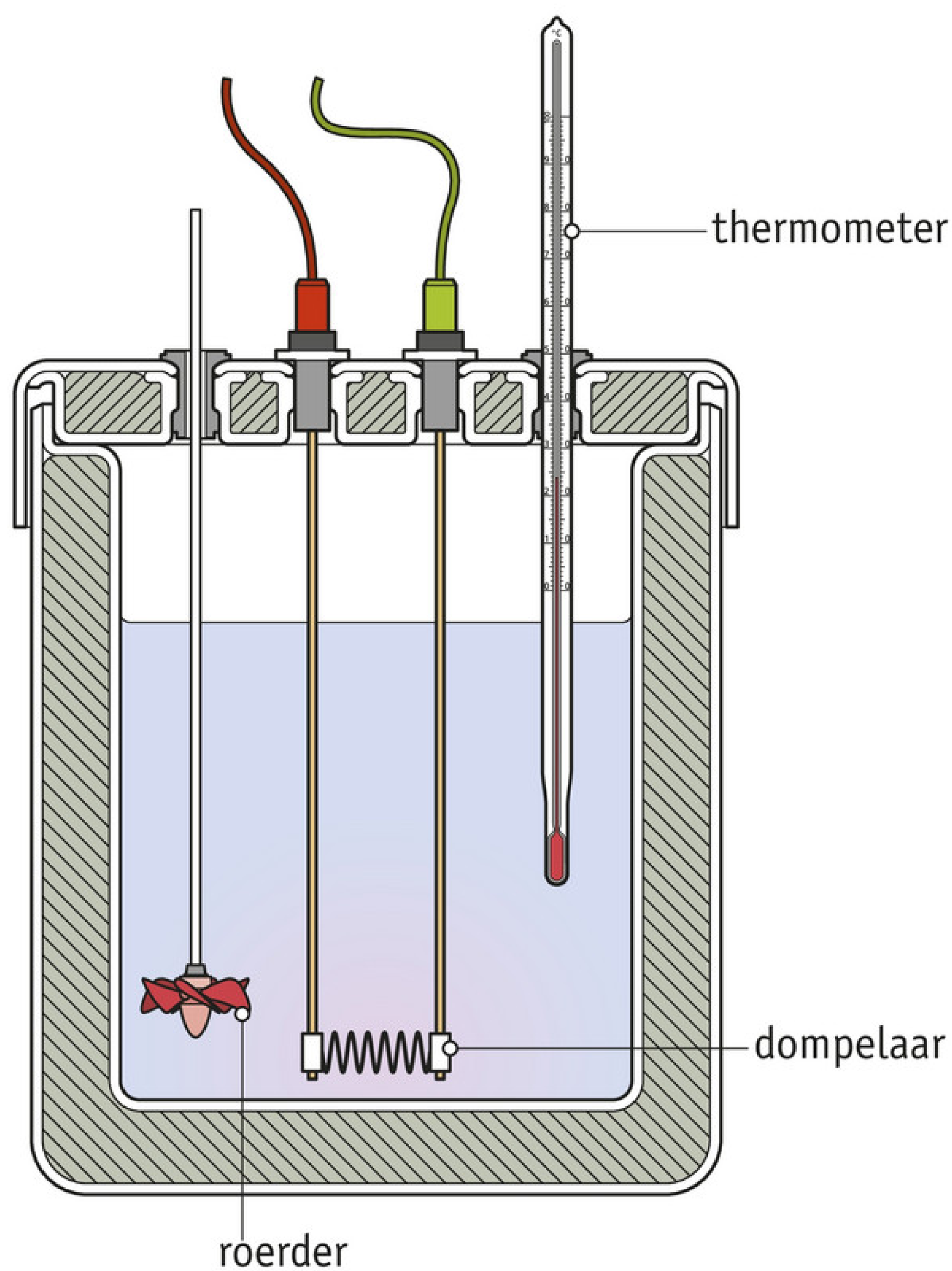
Warmte en temperatuur

Sommige warmtebronnen in huis werken op chemische energie, andere op elektrische energie. De waterkoker van figuur 2 zet de toegevoerde elektrische energie om in warmte. Het grootste deel van die warmte wordt gebruikt voor het verwarmen van water; een klein deel lekt weg naar buiten.

Bij het verwarmen van water neemt de gemiddelde snelheid van de watermoleculen toe en daar is energie voor nodig. De warmte die het water opneemt, wordt dus gebruikt om de watermoleculen sneller te laten bewegen.

Bij een temperatuur van 100 °C kookt het water. Ondanks de warmtetoevoer stijgt de temperatuur dan niet meer en blijft 100 °C. De warmte wordt dan gebruikt om de afstand tussen de moleculen sterk te vergroten. Daarvoor is energie nodig, omdat moleculen elkaar aantrekken. Bij 100 °C ontstaan er overal in de vloeistof bellen met waterdamp. De meeste waterkokers schakelen zichzelf automatisch uit als het water kookt.

Als de temperatuur daalt, neemt de gemiddelde snelheid van moleculen af. Dan moet er dus een temperatuur zijn waarbij de moleculen stilliggen. Je kunt stoffen niet verder afkoelen dan deze temperatuur. Deze temperatuur noem je het **absolute nulpunt**. Uit experimenten blijkt dat die temperatuur voor alle stoffen gelijk is aan −273 °C. Daarop is de temperatuurschaal van Kelvin gebaseerd. Die begint bij het absolute nulpunt met 0 kelvin (ofwel 0 K). Op de Celsiusschaal ligt dit punt bij −273 °C. Het nulpunt is anders, maar verder hebben de schalen dezelfde schaalverdeling. Daarom geldt (zie ook vaardigheid 2 achter in je boek):
T in K = T in °C + 273.
Let op: de eenheid heet niet 'graad kelvin' maar 'kelvin'.



▲ **figuur 3**
een joulemeter in doorsnede

Soortelijke warmte

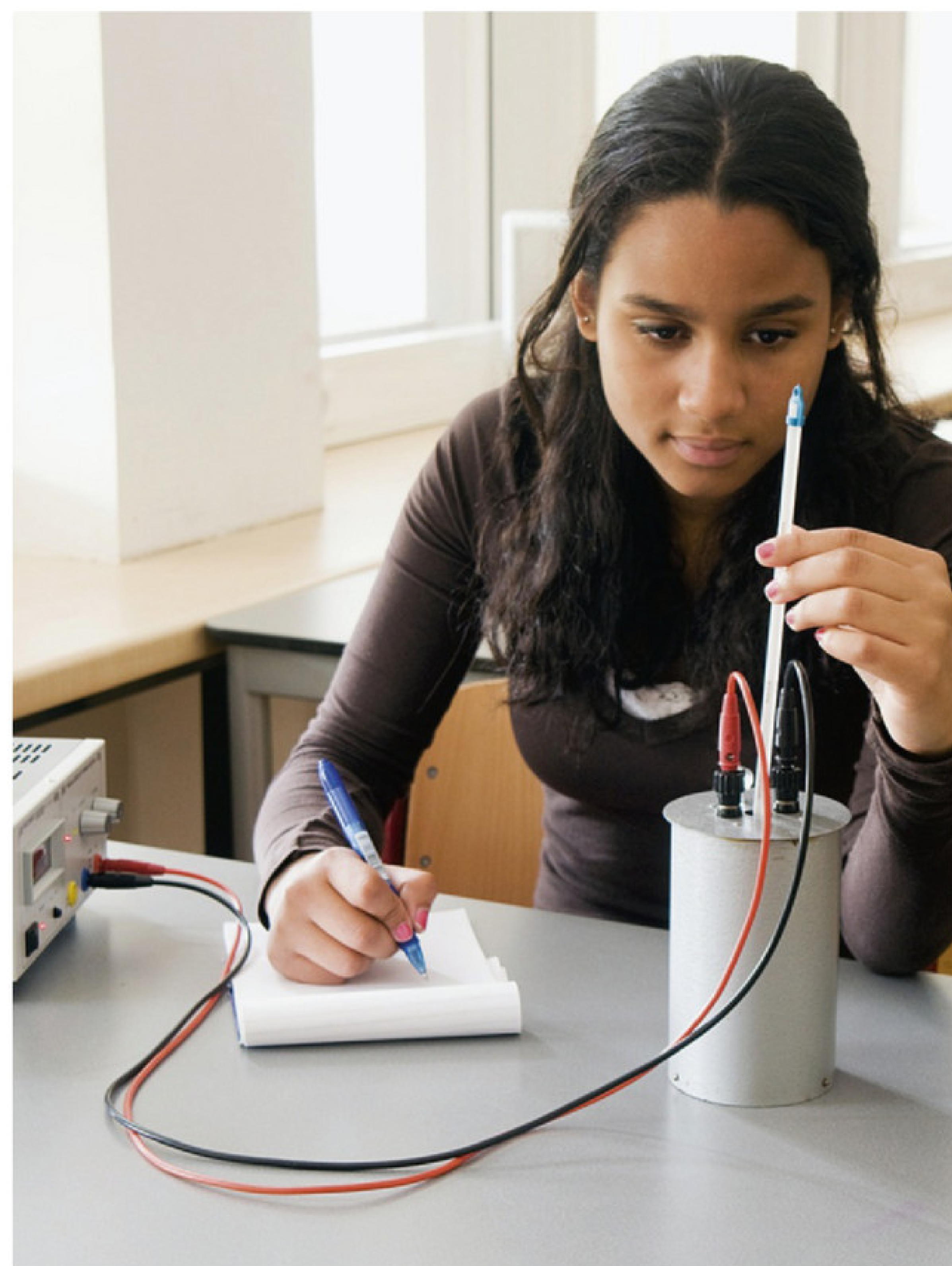
Met de **warmtemeter** van figuur 3 kun je nauwkeurig meten hoeveel warmte er nodig is voor het verwarmen van een bepaalde hoeveelheid vloeistof. De dompelaar in de warmtemeter zet elektrische energie om in warmte. Omdat het bakje goed geïsoleerd is, wordt vrijwel alle geproduceerde warmte door het water opgenomen.

Voorbeeldopgave 1
Anouck doet 100 g water in een warmtemeter met een dompelaar van 12 W (figuur 4). Na 12 min is de temperatuur van het water gestegen van 19 °C naar 39 °C.
Bereken hoeveel warmte de dompelaar heeft geproduceerd.

gegevens t = 12 min = 720 s
P = 12 W

gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t = 12 \times 720 = 8640$ J = 8,6 kJ

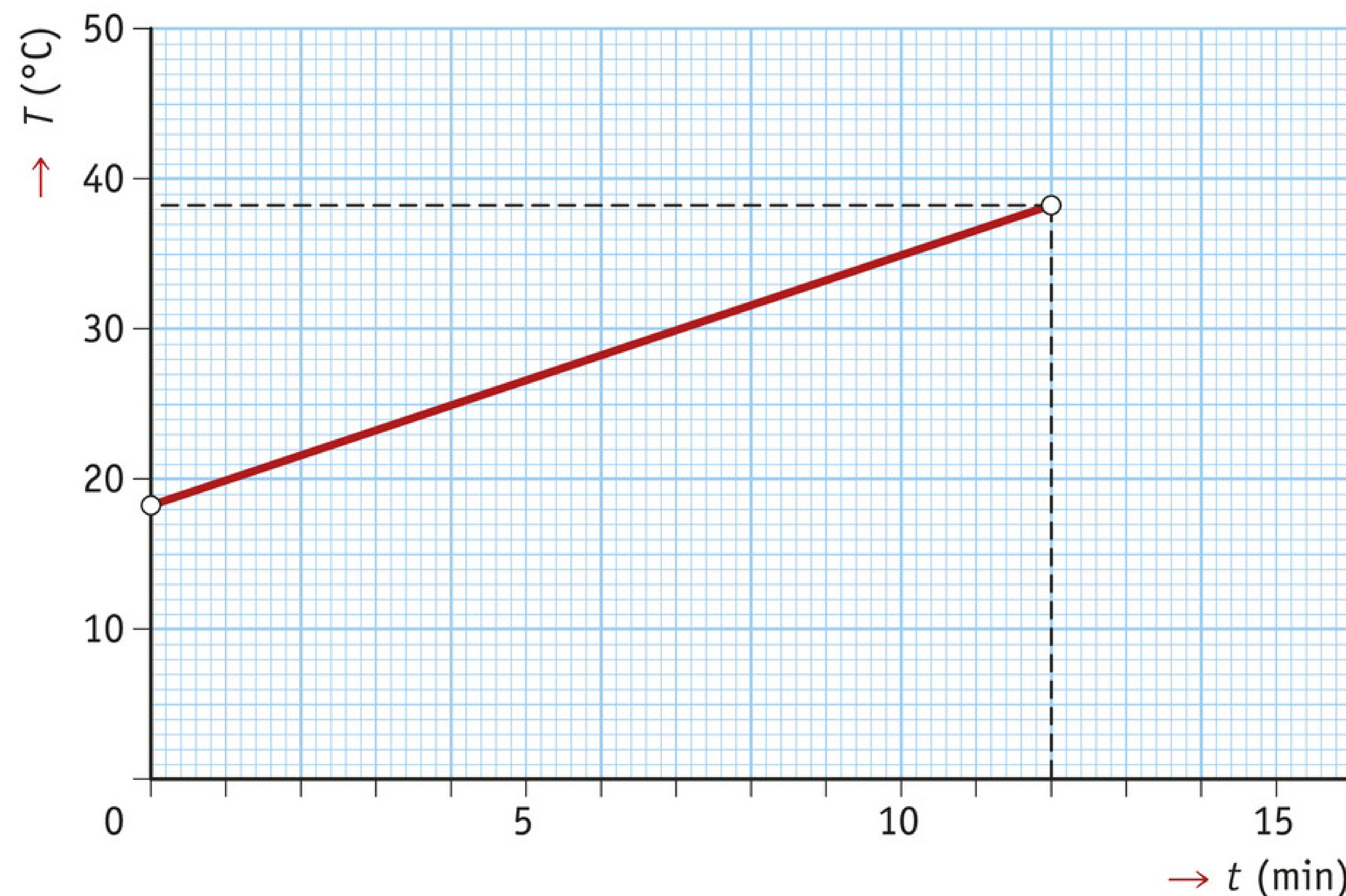


◀ **figuur 4**
meten met een warmtemeter

Uit nauwkeurige proeven blijkt dat er altijd 4,18 J warmte nodig is om 1,0 g water 1,0 °C in temperatuur te laten stijgen. Het maakt daarbij niet uit of de temperatuur stijgt van 21 °C naar 22 °C of van 35 °C naar 36 °C (figuur 5).
De hoeveelheid warmte die nodig is om 1,0 g van een stof 1,0 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de **soortelijke warmte** van die stof. Het symbool voor de soortelijke warmte is de letter *c*. Hier geldt dus: c_{water} = 4,18 J/g·°C, afgerond 4,2 J/g·°C. De soortelijke warmte is een stofeigenschap: elke stof heeft zijn eigen soortelijke warmte (tabel 1).

▼ **tabel 1** soortelijke warmte

stof	soortelijke warmte (J/g·°C)
ijzer	0,46
aluminium	0,88
marmer	0,88
olijfolie	1,65
hout	2,39
water	4,18



▶ **figuur 5**
Tijdens het verwarmen stijgt de temperatuur regelmatig.

Rekenen met soortelijke warmte Proef 1 en 2

De hoeveelheid warmte *Q* die nodig is om een bepaalde hoeveelheid stof te verwarmen tot een bepaalde temperatuur, wordt bepaald door:
- de soort stof: elke stof heeft zijn eigen soortelijke warmte *c*;
- de hoeveelheid stof: de massa *m*;
- de gewenste temperatuurstijging: $\Delta T = T_{eind} - T_{begin}$.

Uit de definitie van soortelijke warmte kun je de volgende formule afleiden:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Als je de *c* invult in J/g·°C, *m* in g en ΔT in °C, dan vind je *Q* in J.

Je kunt met deze formule ook berekenen hoeveel warmte er vrijkomt bij een temperatuurdaling.

Voorbeeldopgave 2

Een waterkoker (1600 W) verwarmt 1,5 L water van 20 °C tot 100 °C. Bereken hoeveel minuten de waterkoker daarvoor nodig heeft. Ga ervan uit dat alle elektrische energie wordt gebruikt om het water te verwarmen.

1 Bereken hoeveel warmte de waterkoker moet leveren.
De massa van 1,5 L water is afgerond $1{,}5 \cdot 10^3$ g. Het water stijgt 80 °C in temperatuur.

gegevens
$c = 4{,}2$ J/g · °C
$m = 1{,}5 \cdot 10^3$ g
$\Delta T = 80$ °C

gevraagd
$Q = ?$

uitwerking
$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}18 \times 1{,}5 \cdot 10^3 \times 80 =$
$5{,}04 \cdot 10^5$ J warmte

2 Bereken de benodigde tijd.
De waterkoker moet dus $5{,}04 \cdot 10^5$ J elektrische energie omzetten in $5{,}04 \cdot 10^5$ J warmte.

gegevens
$E = 5{,}04 \cdot 10^5$ J
$P = 1600$ W

gevraagd
$t = ?$

uitwerking
$E = P \cdot t$
$5{,}04 \cdot 10^5 = 1600 \cdot t$

$$t = \frac{5{,}04 \cdot 10^5}{1600} = 315 \text{ s} = 5 \text{ min en } 15 \text{ s}$$

Joule en calorie

Vroeger werd er voor warmte een aparte eenheid gebruikt: de calorie (cal), naar het Latijnse woord *calor* ('hitte'). Daarvoor geldt: 1,0 calorie is de warmte die nodig is om 1,0 g water 1,0 °C in temperatuur te laten stijgen. Dat is ook de definitie van de soortelijke warmte van water. En dus geldt: 1 cal = 4,18 J.
Alleen op levensmiddelen mag de energiewaarde nog in kJ en in kcal (kilocalorie) staan (figuur 6).

E = door EU goedgekeurde hulpstoffen.
Bewaaradvies: koel en droog bewaren.
Ten minste houdbaar tot einde: zie bovenzijde.

Gemiddelde voedingswaarde per 100 g:

Energie	1811 kJ 433 kcal
Eiwit	4,9 g
Koolhydraten	67,9 g
Waarvan suikers	64,9 g
Vet	15,5 g
Waarvan verzadigd vet	8,9 g
Enkelv. onverzadigd vet	5,7 g
Meerv. onverzadigd vet	0,9 g
Voedingsvezel	6,8 g
Natrium	0,18 g

Perfekt, Antwoordnummer 3500, 4140 VH BEESD

▲ **figuur 6**
Op dit etiket staat nog de oude eenheid cal.

Plus Warmtecapaciteit

Een voorwerp kun je beschrijven met de eigenschappen van dat voorwerp, zoals lengte, massa, kleur, vorm, doorzichtigheid, enzovoort. Dat zijn de **voorwerpseigenschappen**. Natuurkundigen werken vooral met **stofeigenschappen**. Dit zijn kenmerken die bij een stof horen, zoals kookpunt, dichtheid, geur, brandbaarheid, enzovoort. Stofeigenschappen kun je gebruiken om een stof te herkennen. De soortelijke warmte is een ook stofeigenschap.

Vaak is het handig om van een voorwerp te bepalen hoeveel warmte het kost om het voorwerp 1,0 °C in temperatuur te laten stijgen. Deze voorwerpseigenschap is de **warmtecapaciteit** C met als eenheid J/°C. De benodigde hoeveelheid energie Q om een voorwerp met een warmte-capaciteit C met ΔT te verwarmen, kun je berekenen met:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

Als je een voorwerp met een warmtecapaciteit van 2,0 kJ/°C met 8,0 °C in temperatuur wilt laten stijgen, heb je daar dus 2,0 × 8,0 = 16 kJ voor nodig.
Let op: de soortelijke warmte heeft als symbool de kleine letter c, de warmtecapaciteit de hoofdletter C.

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke energie-omzetting vindt er plaats in de ketel van de centrale verwarming?
- **b** Leg uit waarom de pijlen in een energie-stroomdiagram links en rechts even breed zijn.
- **c** Wat wordt bedoeld met 'de soortelijke warmte van water is 4,18 J/g·°C'?
- **d** Leg uit wat het verschil is tussen een energiesoort met een hoge en een met een lage kwaliteit.
- **e** Leg uit waarom een temperatuur lager dan het absolute nulpunt niet mogelijk is.
- **f** Hoe groot is het kookpunt van water in kelvin?

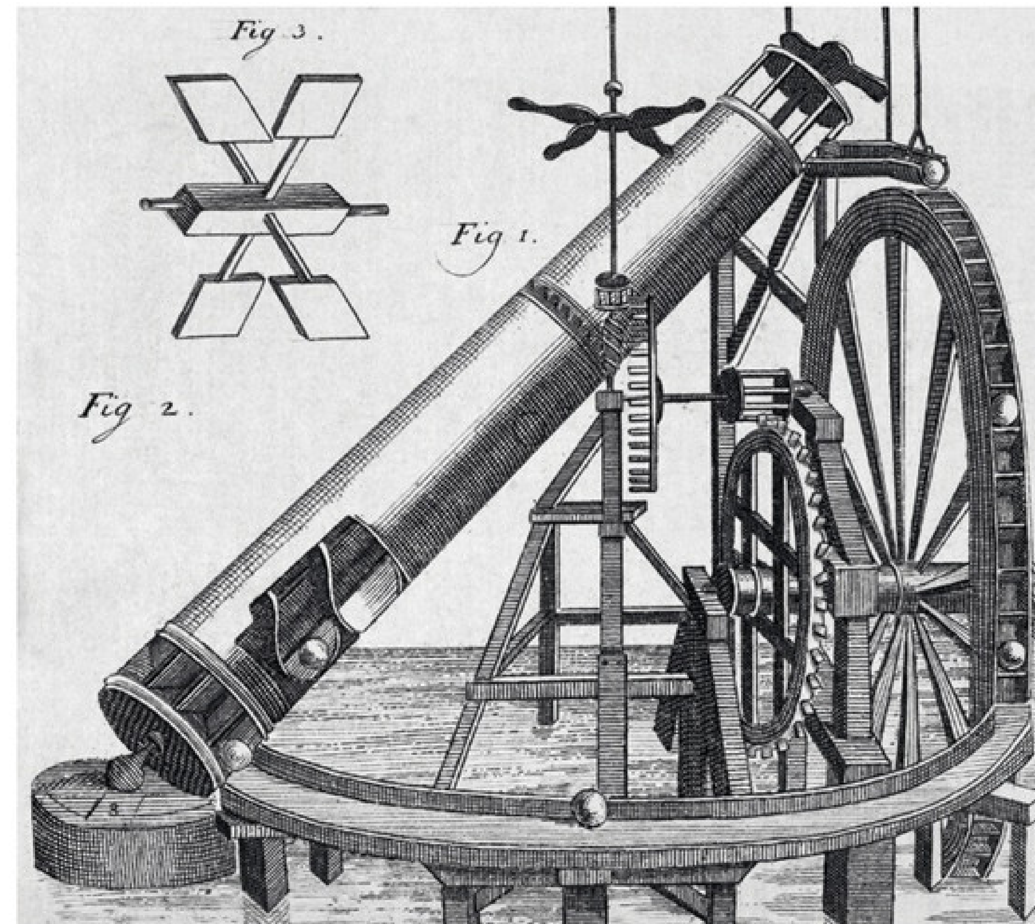
2 Bekijk de afbeelding van de warmtemeter in figuur 3 op bladzijde 145. Leg uit:
- **a** hoe het water in een warmtemeter wordt verwarmd.
- **b** hoe wordt voorkomen dat er warmte uit de warmtemeter 'weglekt'.
- **c** waarom je moet roeren.

3 Een elektriciteitscentrale verbrandt aardgas en produceert elektrische energie. Bij dat proces komt veel warmte vrij. Ongeveer 40% van de toegevoerde energie wordt omgezet in nuttige energie.
- **a** Teken het energie-stroomdiagram van deze centrale.
- **b** Schrijf in de pijlen de namen van de energiesoorten.

***4** Een perpetuum mobile (Latijn voor: 'voortdurend bewegend') is een machine die eeuwig blijft werken, ook al voer je geen energie toe (figuur 7). Al eeuwen wordt ernaar gezocht en op internet kun je gemakkelijk tekeningen ervan vinden. Bij een draaiende machine komt er door wrijving altijd warmte vrij.

a Leg uit waarom een perpetuum mobile niet kan bestaan.

b Zou een perpetuum mobile wel kunnen bestaan als er geen zwaartekracht is?



▶ **figuur 7**
een ontwerp van een perpetuum mobile door Ulrich von Kranach uit 1664

5 Bij deze opgave heb je werkblad 4-1 nodig.
Epke verwarmt 100 mL water met een brander. Om de 30 s meet hij de temperatuur. Op het werkblad is een grafiek afgedrukt van zijn meetresultaten.
Met dezelfde vlam herhaalt hij de proef, maar nu met 150 mL water.
Teken op het werkblad de grafiek van de proef met 150 mL water.

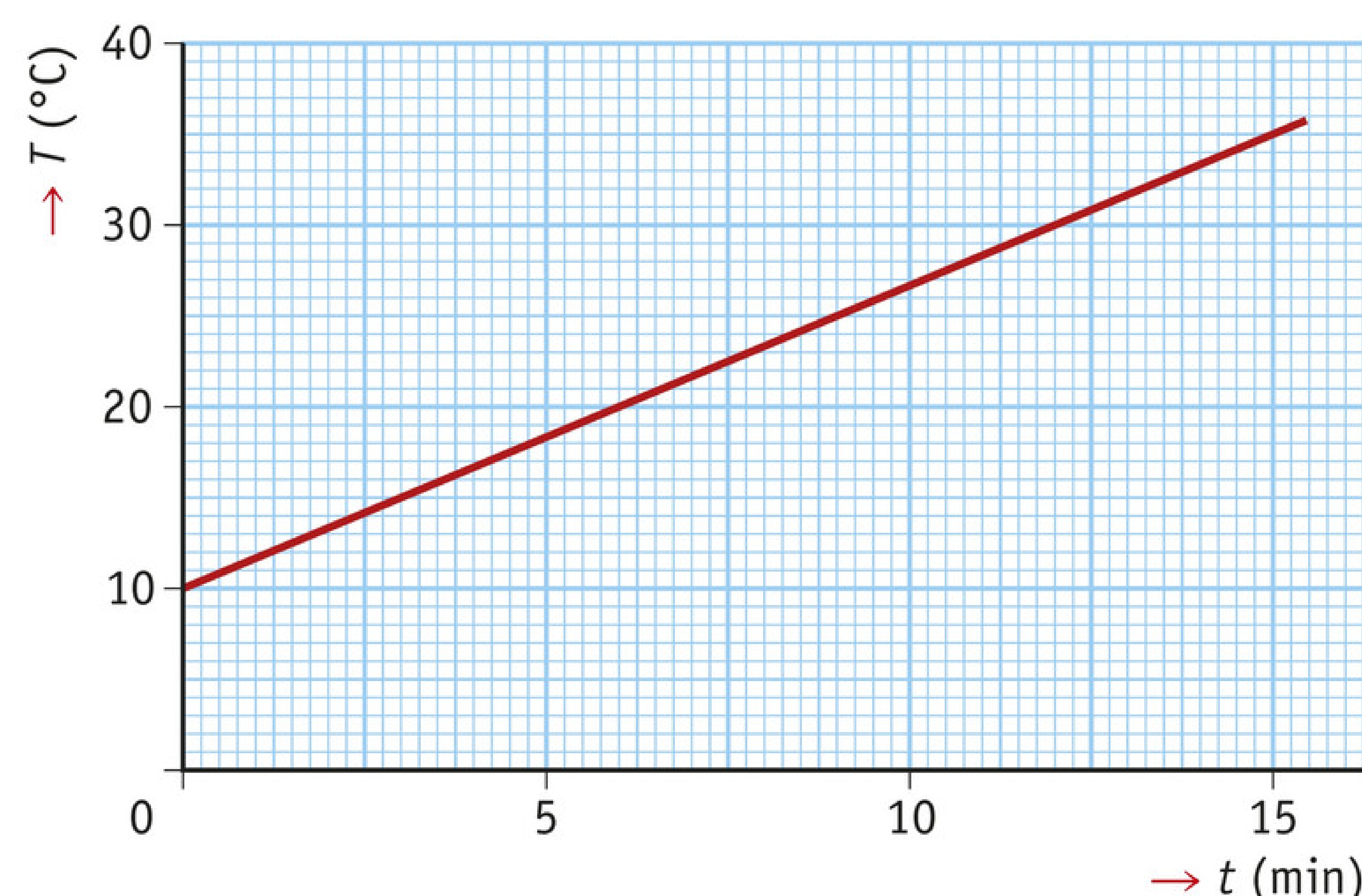
6 In voorbeeldopgave 2 (bladzijde 147) is berekend dat er $5{,}04 \cdot 10^5$ J energie nodig is voor het verwarmen van 1,5 L water van 20 °C tot 100 °C.
Bereken hoeveel uur een lamp van 15 W kan branden op die hoeveelheid energie.

7 Leontien verwarmt 150 g water in een warmtemeter. Haar meetresultaten zie je in figuur 8.

a Bereken hoeveel warmte het water in 15 min opneemt. Zie vaardigheid 3 achter in het boek.

b Bereken het vermogen van het verwarmingselement.

c Verklaar waarom je uitkomst bij b iets te laag zal zijn.



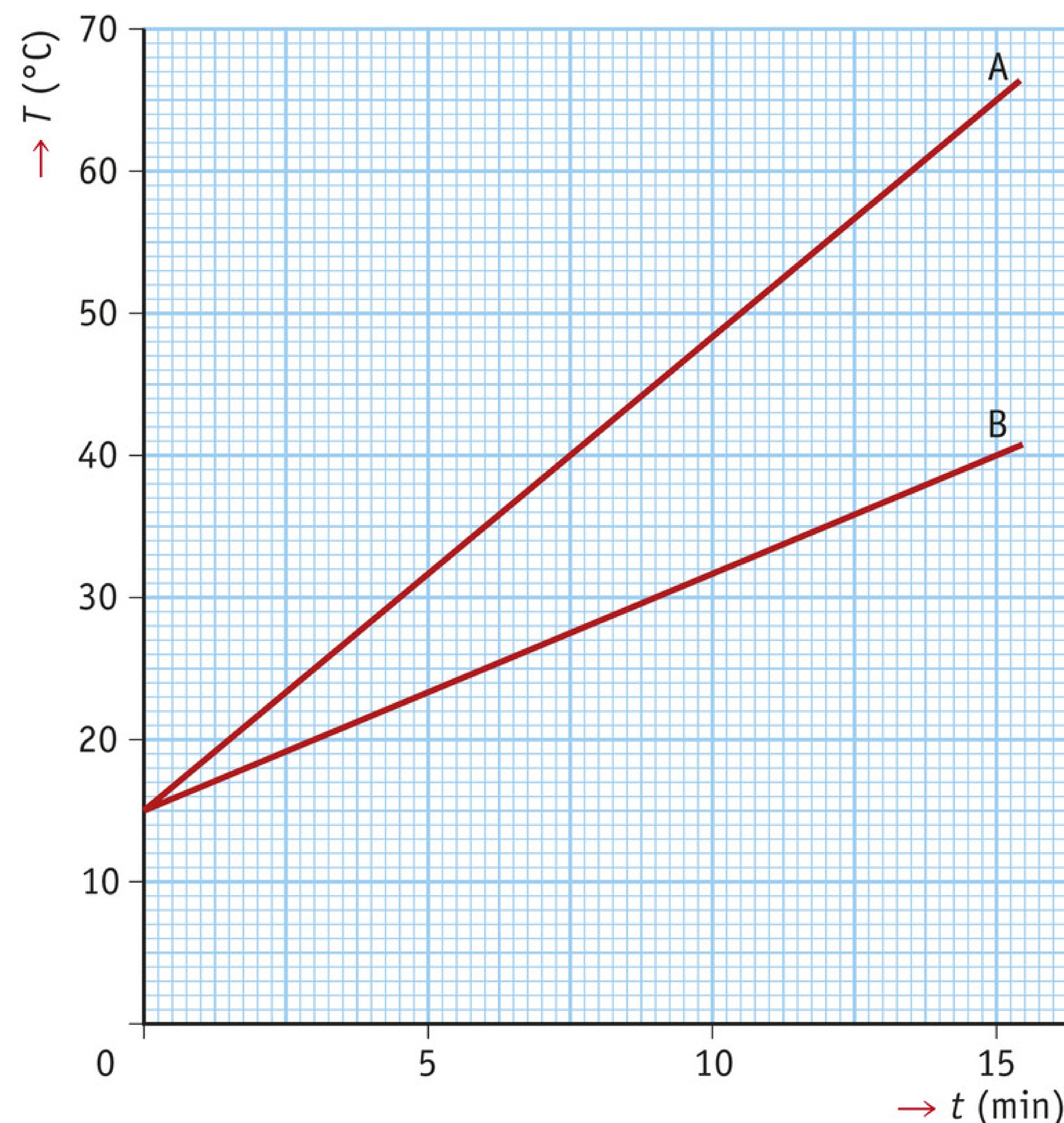
▶ **figuur 8**
de grafiek van Leontien

8 Jos verwarmt met een dompelaar van 12 W eerst 100 g van vloeistof A en daarna 100 g van vloeistof B. In figuur 9 zie je de grafieken die hij van de twee proeven heeft gemaakt.

a Welke vloeistof heeft de grootste soortelijke warmte? Waaraan zie je dat?

b Welke van deze twee vloeistoffen zou water kunnen zijn? Licht je antwoord toe.

▶ **figuur 9**
de grafieken van Jos



ELEKTRISCHE WATERKOKER
- **inhoud 1,7 liter**
- **2200 W**
- **afneembare kan**
- **droogkookbeveiliging**
- **waterpeilindicator**
- **fraai design**
- **één jaar garantie**



▲ **figuur 10**
een snelkoker of een langzaamkoker?

9 Joan vult de waterkoker van figuur 10 helemaal met water van 20 °C en zet het apparaat aan.

a Bereken hoelang het minstens duurt voordat het water kookt.

b Leg uit waarom bij a het woord ‘minstens’ staat.

***10** Op de camping maakt Ella 1,5 L thee met een brander (figuur 11). Ze verwarmt het water van 20 °C tot 100 °C. Helaas stroomt 50% van de geproduceerde warmte langs de pan en gaat verloren. De brandstof levert 46 kJ/g warmte.
Bereken hoeveel gram brandstof ze gebruikt.



▶ **figuur 11**
water verwarmen

Plus Warmtecapaciteit

11 Geef van de volgende woorden aan of het gaat om een stofeigenschap, een voorwerpseigenschap of beide.

- **a** massa
- **b** dichtheid
- **c** kleur
- **d** weerstand
- **e** brekingsindex
- **f** volume

***12** De motor van een scooter wordt gekoeld met water. Het koelreservoir bevat 800 g water. Als je de scooter start, hebben de motor en het koelwater een temperatuur van 15 °C. Na een stukje rijden is de temperatuur van de motor en het koelwater gestegen tot 80 °C.

- **a** Bereken hoeveel energie nodig was voor het verwarmen van het koelwater.
- **b** De motor is gemaakt van aluminium en heeft, zonder het koelwater, een massa van 14 kg.
  Bereken hoeveel energie er nodig was om het aluminium te verwarmen. Gebruik hierbij tabel 1 op bladzijde 146.
- **c** Bereken de warmtecapaciteit van de motor inclusief het koelwater.

2 Energiebronnen



▲ figuur 12
een kolengestookte elektriciteitscentrale op de Maasvlakte bij Rotterdam

Nederland maakt gebruik van veel verschillende energiebronnen. Elke energiebron heeft zijn eigen voor- en nadelen.

Wat is een energiebron?

Een **energiebron** levert een energiesoort van een hoge kwaliteit, dus een energiesoort die je voor veel verschillende doeleinden kunt gebruiken. Soms rechtstreeks, zoals de zon die het huis verwarmt, maar vaak via een apparaat dat de energiesoort van de bron omzet in een andere energiesoort:

- Een cv-ketel zet de chemische energie van aardgas om in warmte.
- Een zonnecel zet de stralingsenergie van de zon om in elektrische energie.
- Een windmolen zet de bewegingsenergie van stromende lucht om in elektrische energie.

Aardgas, zon en wind zijn dus voorbeelden van energiebronnen.

Zes energiebronnen

Voor Nederland zijn fossiele brandstoffen nu nog de belangrijkste energiebron, maar andere bronnen worden steeds belangrijker.

Fossiele brandstoffen
Aardolie, aardgas en steenkool noem je **fossiele brandstoffen**. Ze leveren chemische energie voor de scheepvaart (stookolie), het wegvervoer (benzine, autogas en dieselolie) en de luchtvaart (kerosine), maar ook voor het verwarmen van gebouwen (aardgas) en voor elektriciteitscentrales (figuur 12).

Biomassa
Biomassa is materiaal dat van planten en dieren afkomstig is, zoals snoei- en afvalhout, plantenresten of mest. Mest wordt verwerkt in een biogasinstallatie. Hierbij ontstaat biogas dat aardgas kan vervangen. Andere soorten biomassa worden verbrand, zoals snoeihout en ook speciaal daarvoor gekweekte gewassen zoals koolzaad en olifantsgras.

Zon
Een **zonnecollector** zet de stralingsenergie van de zon om in warmte waarmee water verhit wordt (figuur 13). **Zonnecellen** zetten stralingsenergie om in elektrische energie. Steeds meer mensen laten zonnecellen op het dak aanbrengen (figuur 14).



▲ figuur 13
Zonnecollectoren leveren heet water.

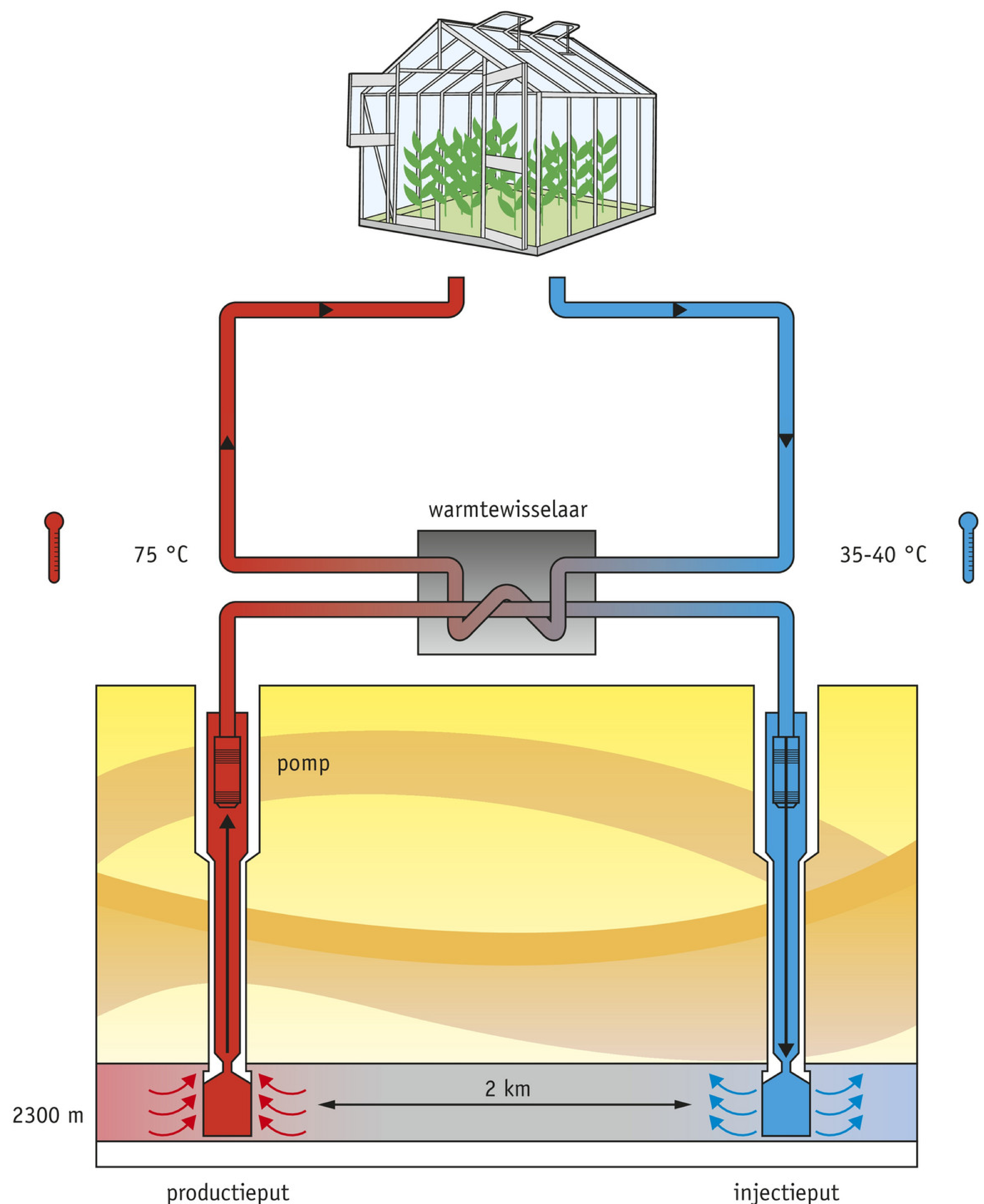


▲ **figuur 14**
Zonnecellen leveren elektrische energie.

Aardwarmte
Als je dieper je in de aarde komt, stijgt de temperatuur. Om deze **aardwarmte** te gebruiken, zijn twee putten nodig (figuur 15). Uit de eerste put wordt heet water uit de diepte omhoog gepompt. In een **warmtewisselaar** geeft dat hete water een deel van zijn warmte af aan een tweede waterleiding. Die tweede waterleiding verwarmt dan bijvoorbeeld een kas. Het afgekoelde water van de eerste leiding wordt via de tweede put teruggepompt in de bodem en warmt daar dan weer op.

Wind
In de zeventiende en achttiende eeuw waren windmolens onmisbaar. Ze maalden graan, pompten water en zaagden hout, maar ze verdwenen bij de opkomst van de stoommachine. Moderne windmolens produceren elektrische energie. Ze worden ook vaak **windturbine** genoemd.

Kernenergie
Bij het splijten van de kern van een atoom komt heel veel energie vrij. Een kerncentrale zet die energie om in elektrische energie.



▶ **figuur 15**
Aardwarmte wordt onder andere gebruikt om kassen te verwarmen.



▲ figuur 16
Plannen voor windenergie leiden vaak tot protesten.

Voor- en nadelen van energiebronnen

Elke energiebron heeft voordelen en nadelen. Als je energiebronnen met elkaar vergelijkt, let je op de volgende vier vragen:

Wat is de kostprijs?
Elektriciteit uit zon en wind is op dit moment (2014) duurder dan elektriciteit uit fossiele brandstoffen. Dat kan veranderen als de olie- en gasprijzen sterk stijgen, of als de windturbines of zonnecellen goedkoper worden.

Kan de energiebron uitgeput raken?
De voorraden fossiele brandstoffen zijn beperkt en raken dus ooit op. Dat geldt ook voor de splijtstof van de kerncentrale. Dat geldt niet voor zonne- en windenergie.

Is de energiebron altijd of alleen af en toe beschikbaar?
Aardgas-, kolen- en kerncentrales leveren dag en nacht elektrische energie. Maar een windturbine staat stil als het niet waait.

Wat zijn de gevolgen voor het milieu?
Bij het verbranden van brandstoffen ontstaan er grote hoeveelheden afvalstoffen die slecht zijn voor het milieu. Windturbines hebben andere nadelen, zoals horizonvervuiling en geluidshinder (figuur 16). Kerncentrales stoten geen CO_2 uit en leveren weinig, maar wel heel gevaarlijk afval.

Plus Hoe 'groen' is biomassa?

Biomassa is een hernieuwbare energiebron, omdat de voorraad steeds wordt aangevuld. Een bos kan elk jaar een constante hoeveelheid brandhout opleveren.

Je kunt biomassa verbranden en zo elektriciteit opwekken. Je kunt het ook omzetten in een brandstof die dan een fossiele brandstof kan vervangen. Bioalcohol bijvoorbeeld kan bijgemengd worden bij benzine. Of biomassa goed is voor het milieu hangt af van hoe het wordt geproduceerd, getransporteerd, bewerkt en gebruikt.

De eerste generatie biomassa maakte biodiesel uit voedselgewassen, zoals palmolie, maïs en soja. Met suikerriet en graan werd bio-ethanol gemaakt. Die grondstoffen zijn ook belangrijke voedselgewassen. Door de grotere vraag stegen de prijzen waardoor voedsel voor grote groepen mensen in armere landen te duur werd. Ook werd er voor de productie oerwoud gekapt of tropische moeras drooggelegd.



◀ figuur 17
een algenkweek

Voor de tweede generatie gebruikt men daarom gewassen die ongeschikt zijn voor voedsel, zoals olifantsgras. Die gewassen zijn wel heel geschikt om te verbranden, maar het is erg moeilijk om er biobrandstoffen van te maken. En bovendien zijn er voor de teelt veel bestrijdingsmiddelen nodig. Ook de tweede generatie heeft dus grote nadelen.

De derde generatie biomassa bestaat uit algen of zeewieren met een hoog percentage olie (figuur 17). De olie wordt uit de algen gewonnen en kan dan worden gebruikt als brandstof. Deze vorm van biomassa concurreert niet met de productie van voedsel en levert CO_2-neutrale brandstoffen. Het is een veelbelovende techniek, maar er is nog veel onderzoek nodig om dit proces rendabel te maken.

opgaven

13 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Noem drie belangrijke fossiele brandstoffen.
- **b** Welke energie-omzetting vindt er plaats in een zonnecollector?
- **c** Welke nadelen hebben de moderne windturbines voor het milieu?
- **d** Welk voordeel heeft kernenergie?

14 Neem tabel 2 over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 2**

energiebron	toegevoerde energiesoort	energie-omzetter	geleverde energiesoort
		cv-ketel	
	stralingsenergie		warmte
aardolie		elektriciteitscentrale	
		warmtewisselaar	
		windmolen	

15 In de tekst staan voor- en nadelen van enkele energiebronnen.
Voor welke energiebron(nen) geldt:
- **a** is schoon in het gebruik, maar veroorzaakt geluidshinder en horizon-vervuiling?
- **b** is dag en nacht beschikbaar, maar zal ooit uitgeput raken?
- **c** raakt nooit op, maar levert 's winters wel veel minder energie dan in de zomer?
- **d** levert schone warmte voor de tuinbouw, maar vraagt grote investeringen?

16 Lees het krantenartikel in figuur 18.
- **a** De zonneoven spaart het milieu.
  Leg uit wat er precies wordt 'gespaard'.
- **b** Leg uit waarom brandhout vinden heel veel tijd kost.
- **c** Het artikel noemt een aantal voordelen van de zonneoven.
  Bedenk zelf een nadeel.
- **d** Leg uit waarom het deksel van de zonneoven niet gemaakt is met enkel glas, maar met het dure dubbel glas.

De Solar Cooker

De Solar Cooker is een even eenvoudige als unieke vinding van Jan Dierkx, een 84-jarige Ermelose uitvinder. Dierkx timmerde een kist met daarin een lichtmetalen bak en een deksel van dubbel glas. Met de Hollandse zomerzon kun je er al voedsel in stoven en koken, laat staan in het zonovergoten Afrika. De oven is goedkoop, bestand tegen het Afrikaanse klimaat en kan hoge temperaturen bereiken zodat schadelijke bacteriën worden gedood. Tevens heeft hij het voordeel dat hij het milieu spaart. Een gezin hoeft niet meer uren per dag hout te sprokkelen. Per zonneoven worden er twintig bomen per jaar bespaard.



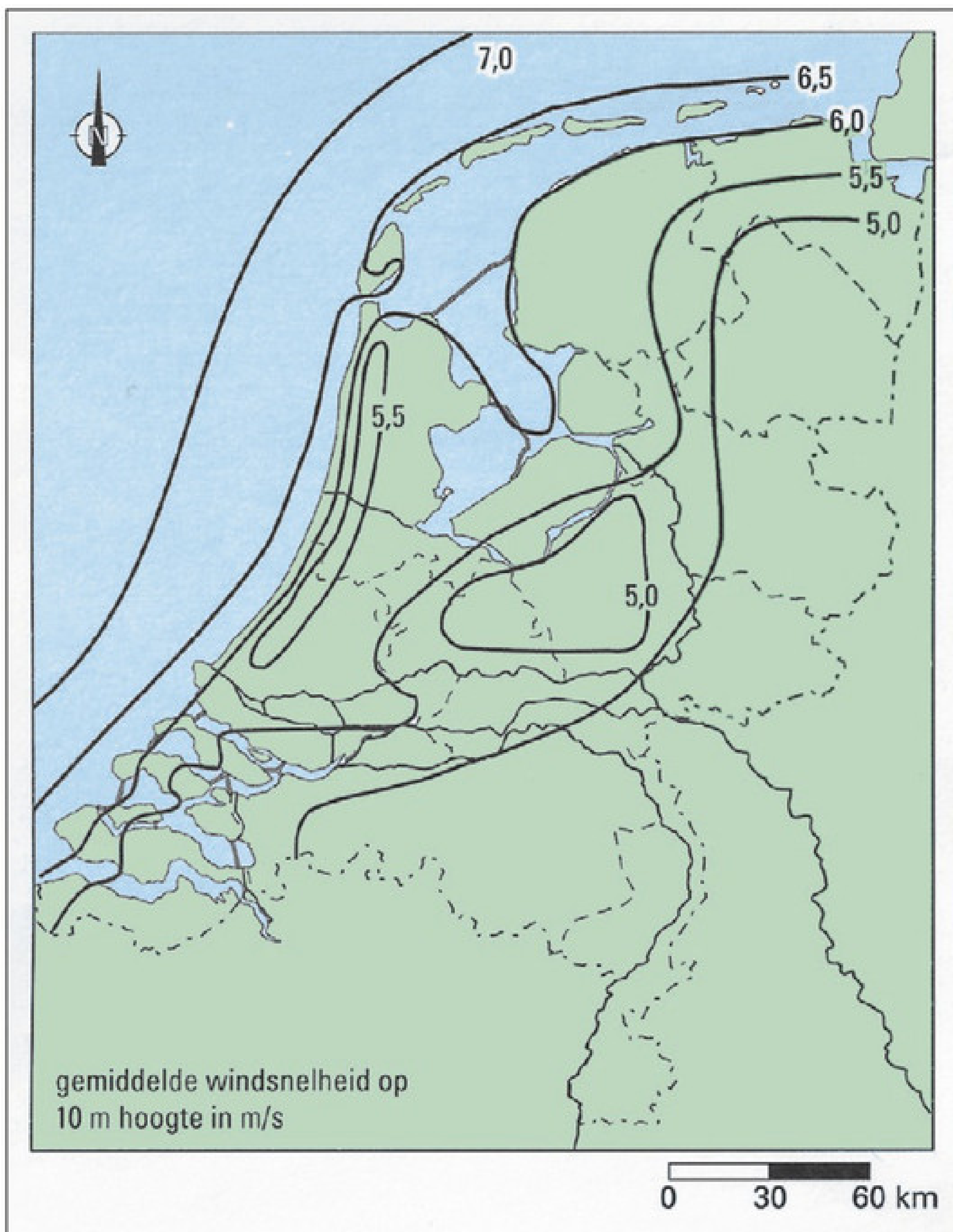
▶ **figuur 18** zonne-energie voor Afrika

***17** Door zonnepanelen langs de snelwegen te plaatsen, zouden we een groot aantal Nederlandse huishoudens van elektrische energie kunnen voorzien. Een gemiddeld huishouden in Nederland verbruikt 3500 kWh/jaar. Een zonnepaneel levert 80 kWh/m^2 per jaar.

- **a** Bereken het oppervlak van het zonnepaneel dat nodig is voor één huishouden.
- **b** Nederland heeft 2360 km snelweg. Stel dat er langs alle snelwegen aan beide kanten zonnepanelen worden geplaatst met een hoogte van 4,0 m.
  Bereken voor hoeveel huishoudens deze zonnepanelen elektrische energie kunnen leveren.
- **c** Noem drie nadelen van dit plan.

18 Het aanbod van energie is niet constant en daarom is het vaak handig om een voorraad energie aan te leggen.
Waar en in welke vorm wordt zo'n voorraad energie opgeslagen:

- **a** door een oliemaatschappij die rekening houdt met een 'oliecrisis'?
- **b** door een aardappelplant die in de zomer veel energie 'overhoudt'?
- **c** door een beer die zich in de herfst voorbereidt op de komende winter?



▲ **figuur 19**
Zo hard waait het gemiddeld in Nederland.

19 De ligging aan de Noordzee maakt Nederland geschikt om elektrische energie op te wekken met windturbines. In figuur 19 verbinden de lijnen plaatsen met dezelfde gemiddelde windsnelheid.

a Leg uit waarom de gemiddelde windsnelheid in het binnenland kleiner is dan in de kuststreek.
b Aan zee is de windsnelheid het hoogst.
Leg uit waarom er toch niet overal in de duinen windturbines worden geplaatst.
c Noem twee voordelen en een nadeel van het plaatsen van windturbines in de Noordzee, 10 km of meer uit de kust.
d Een nadeel van windenergie is dat het niet altijd waait.
Hoe zou je de door windmolens opgewekte energie kunnen opslaan om te gebruiken als het niet waait?

20 Het energiebedrijf wil een elektriciteitscentrale met een vermogen van 800 MW vervangen door windmolens. Een windmolen met een hoogte van ongeveer 100 m levert gemiddeld 3,0 MW.

a Bereken hoeveel windmolens daarvoor nodig zijn.
b De windmolens worden langs de kust geplaatst. De lengte van de kust van Nederland is 451 km.
Bereken de afstand tussen de windmolens.
c Geef een voordeel en een nadeel van dit plan.

21 Zoek op internet meer informatie over een van de volgende energiebronnen: aardgas, aardwarmte, biomassa, getijden, steenkool, wind, zon.
Beschrijf in een werkstuk van maximaal twee A4'tjes:

a op welke manier(en) de energiebron kan worden benut.
b welke voordelen de energiebron heeft.
c welke nadelen en beperkingen de energiebron heeft.

Plus Hoe 'groen' is biomassa?

22 Zoek op internet informatie over biomassa.

a Maak een lijst van gewassen die als biomassa kunnen worden gebruikt.
b Welke gewassen spelen bij de tweede generatie een belangrijke rol?
c Waarom wordt er onderscheid gemaakt tussen 'goede' en 'foute' biomassa?
d Hoe werkt de productie van biobrandstof uit algen?

23 In 2013 verbruikte een Amerikaan gemiddeld 7,5 L dieselolie per dag. Er zijn 300 miljoen inwoners.

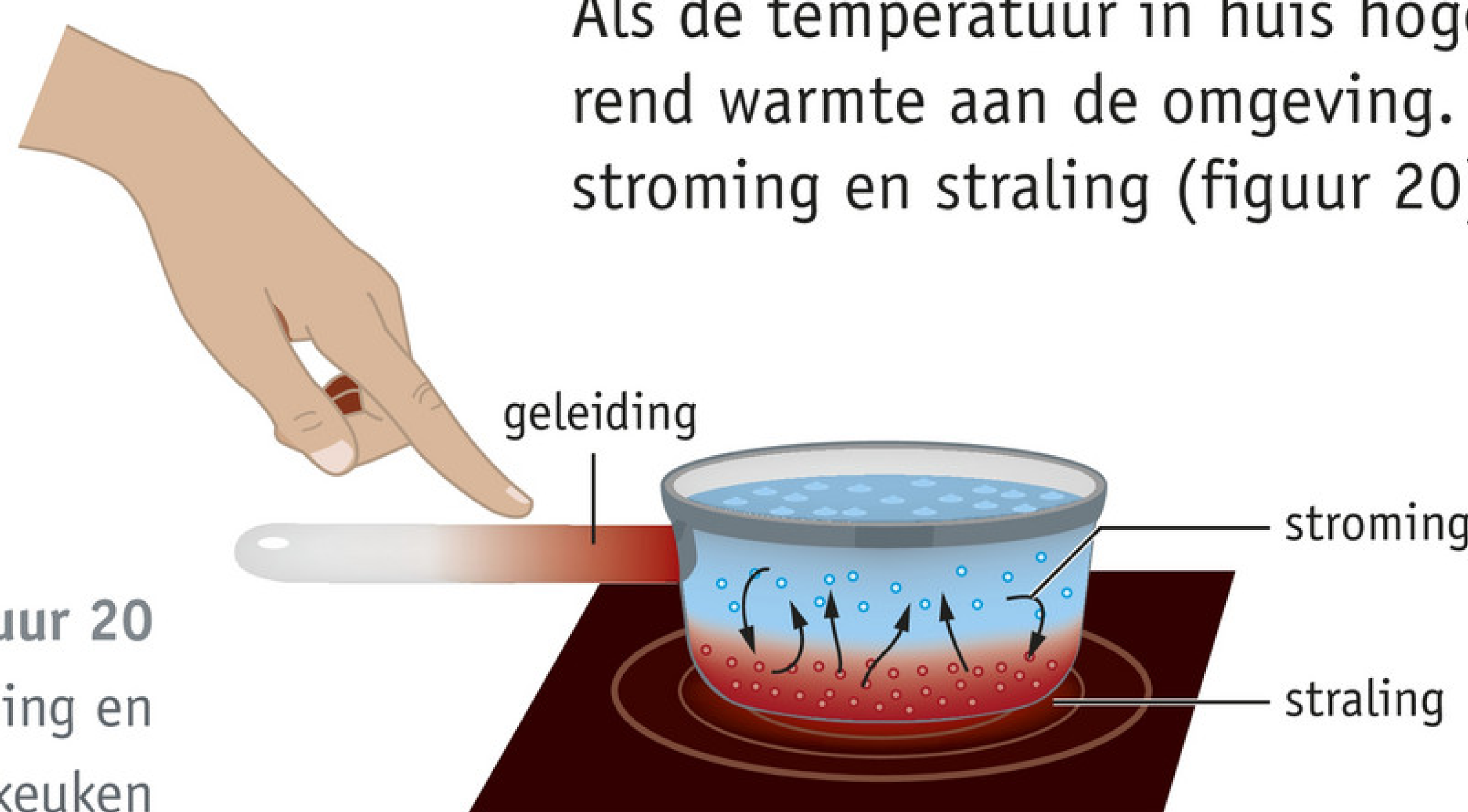
a Bereken hoeveel dieselolie er per dag wordt gebruikt.
b Een km^2 landbouwgrond levert per dag $4{,}7 \cdot 10^3$ L biodiesel.
Bereken hoeveel km^2 landbouwgrond er nodig is.

3 Isoleren

Als je in een koud huis de verwarming aanzet, zal de temperatuur eerst stijgen. Na verloop van tijd blijft de temperatuur constant. De cv-ketel moet wel af en toe branden om het warmteverlies te compenseren. Je kunt dit warmteverlies beperken door goed te isoleren.

Warmteverlies Proef 3 en 4

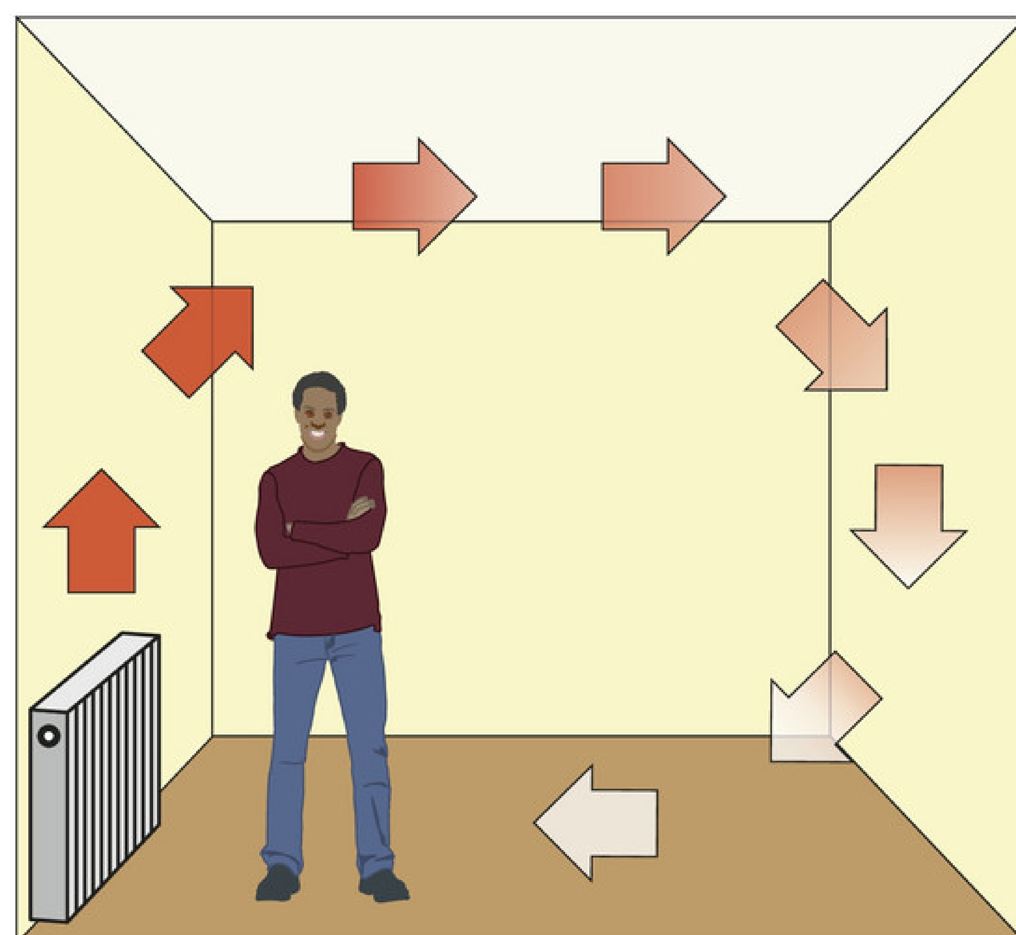
Als de temperatuur in huis hoger is dan buiten, verliest het huis voortdurend warmte aan de omgeving. Dat gebeurt op drie manieren: geleiding, stroming en straling (figuur 20).



▶ **figuur 20**
geleiding, stroming en straling in de keuken

Geleiding

Bij **geleiding** beweegt de warmte door een stof heen, zoals baksteen of glas. Een ruit is aan de binnenkant warm en aan de buitenkant koud. De glasmoleculen botsen met elkaar en geven zo de hoge bewegingsenergie van de binnenkant door naar de buitenkant. Zo verspreidt de warmte zich van binnen (hoge temperatuur) naar buiten (lage temperatuur). Metalen geleiden de warmte goed; hout en kunststof geleiden de warmte slecht.



▲ **figuur 21**
een kamer verwarmen

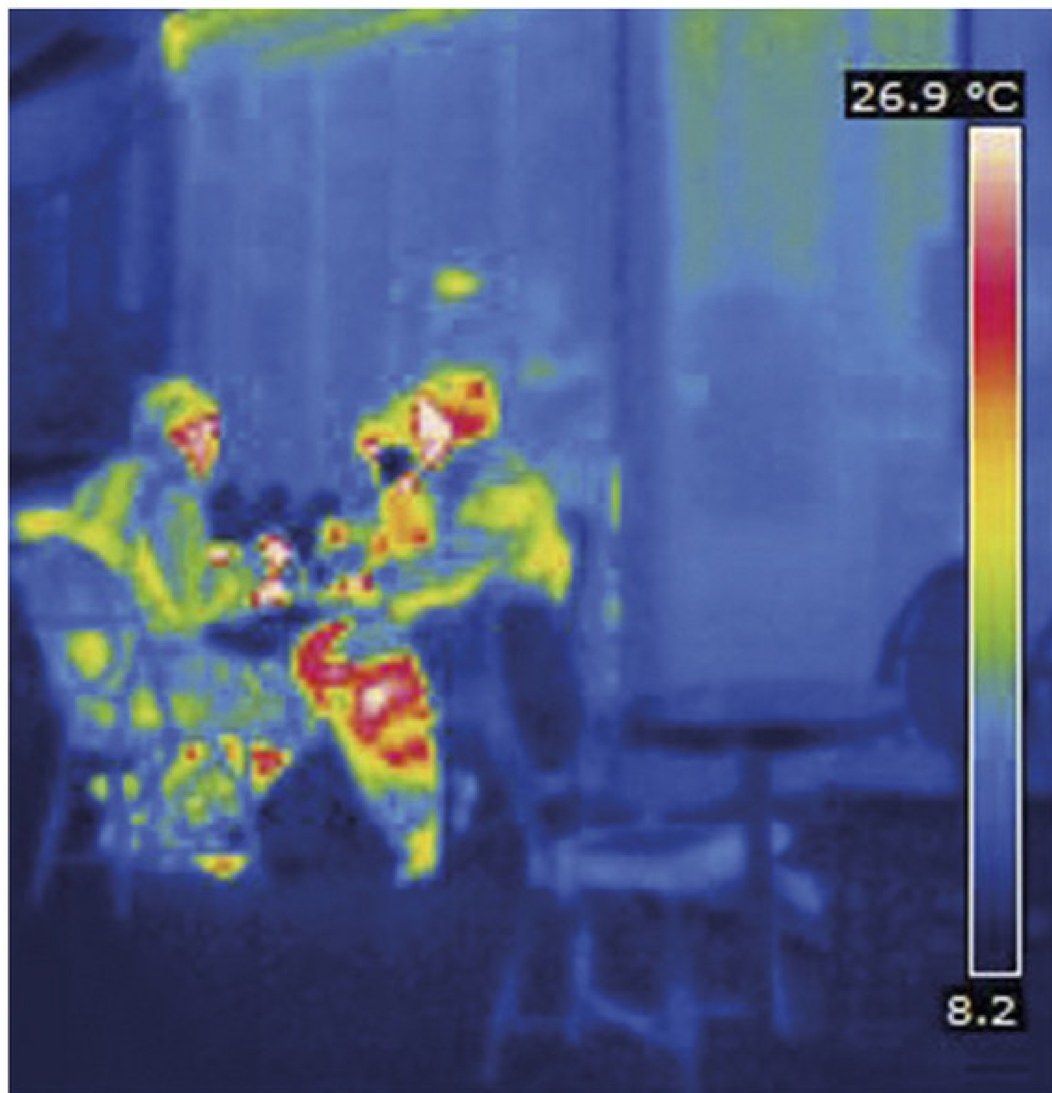
Stroming

Als je een vloeistof of een gas op één plaats verwarmt, kan er een **stroming** ontstaan. Dat zie je bijvoorbeeld bij de radiatoren in huis. De lucht wordt daar warm, zet uit en krijgt zo een kleinere dichtheid. De warme lucht stijgt daardoor op en neemt zo de warmte met zich mee. Verderop koelt de lucht af en daalt weer (figuur 21).

Straling

Alles om je heen – ook je eigen lichaam – zendt **straling** uit: kleine pakketjes stralingsenergie. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, des te meer stralingsenergie het voorwerp uitzendt. In figuur 22 zie je dat mensen op de ene plek meer warmte uitstralen dan op de andere.

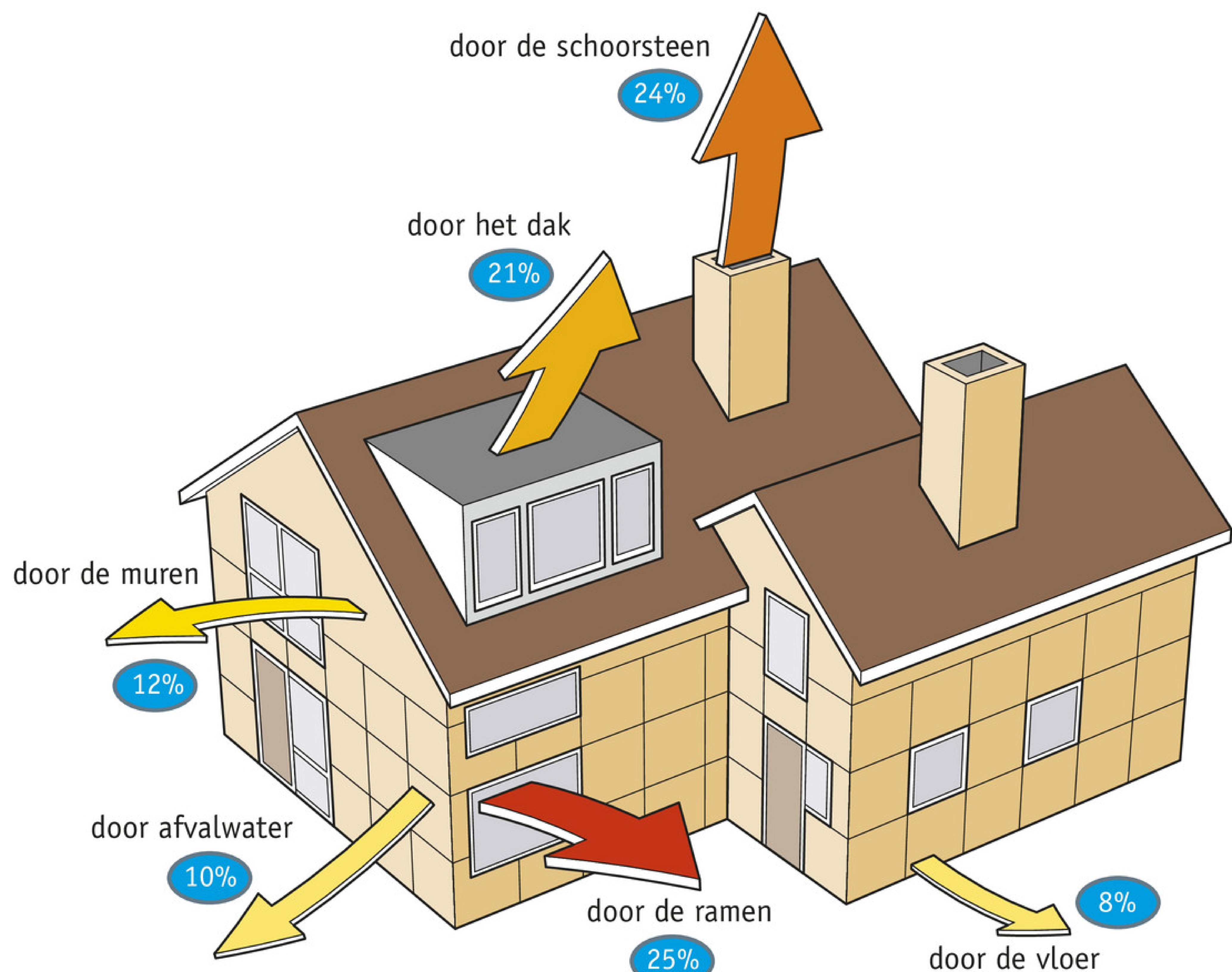
Geleiding, stroming en straling zijn heel verschillende processen, maar het effect is hetzelfde. De warmte verspreidt zich 'vanzelf' van de plaats met de hoogste temperatuur naar plaatsen waar het kouder is. Warmere voorwerpen verliezen dus voortdurend warmte.



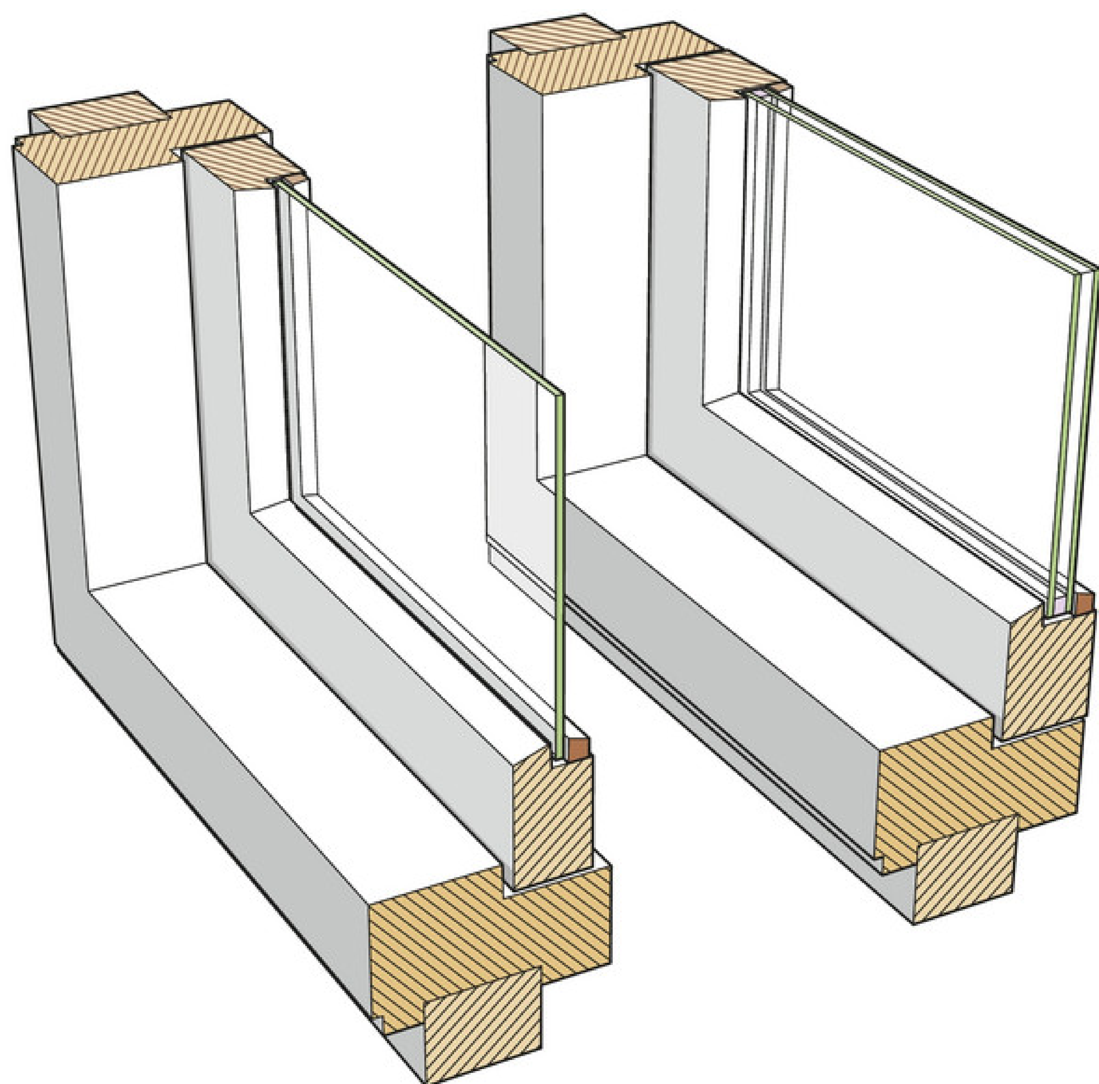
▲ **figuur 22**
Een thermogram maakt de infrarode straling zichtbaar die een mens uitstraalt.

Dynamisch evenwicht

De binnentemperatuur blijft alleen constant, als de verwarming evenveel warmte levert als het huis naar buiten verliest (figuur 23). Warmteproductie en -verlies zijn in evenwicht. Zet je de verwarming hoger, dan is de warmteproductie groter dan het warmteverlies en stijgt de temperatuur. Als de temperatuur stijgt, neemt ook het warmteverlies toe. Dat gaat door totdat de warmteproductie en het warmteverlies weer in evenwicht zijn. De temperatuur blijft dan op een hogere waarde weer constant. Dit noem je een **dynamisch evenwicht**.
Een ander voorbeeld van zo'n evenwicht is de emmer met een gat in de bodem, die onder een stromende kraan staat. De emmer wordt gevuld, maar stroomt ook leeg. Als toe- en afvoer van het water even groot zijn, blijft het waterniveau in de emmer gelijk. Draai je de kraan verder open, dan stijgt het water. Hierdoor loopt er meer water weg en er stelt zich een nieuw evenwicht in. Bij een hoger waterniveau stroomt er per seconde weer evenveel water in als uit.



▲ **figuur 23**
het warmteverlies van een doorsnee woning



▲ **figuur 24**
enkel glas (links) en dubbel glas (rechts)

Isolatie

Door **isolatie** maak je het warmteverlies kleiner. De cv-ketel hoeft dan niet zoveel warmte te leveren. Dat is goed voor het milieu en verlaagt de energierekening.
Je kunt warmteverlies verkleinen door de thermostaat lager te zetten, maar ook door:
- enkel glas te vervangen door dubbel glas (figuur 24);
- daken, vloeren en muren te isoleren met isolatiemateriaal;
- cv- en warmwaterleidingen te isoleren, waar ze door koude ruimtes lopen, zoals een garage.

Voorbeeldopgave 3
Ina leest in een folder dat je met het isoleren van cv-leidingen 10 m^3 aardgas per meter leiding per jaar kunt besparen. 1 m^3 aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J warmte.
Bereken hoeveel warmte ze elk jaar bespaart als ze 15 m cv-leiding isoleert.

gegevens	1 m leiding isoleren bespaart 10 m^3 aardgas per jaar. 1 m^3 aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J aan warmte.
gevraagd	de besparing aan warmte per jaar
uitwerking	15 m leiding isoleren bespaart 15 × 10 = 150 m^3 aardgas per jaar. Dat komt overeen met $150 \times 32 \cdot 10^6 = 4{,}8 \cdot 10^9$ J = 4,8 GJ aan warmte.

Wandisolatie

Baksteen is een vrij goede warmtegeleider en er stroomt dus door de muren vrij veel warmte naar buiten. Hoeveel warmte er per seconde door een muur naar buiten stroomt, hangt af van:
- het temperatuurverschil ΔT tussen binnen en buiten;
- het oppervlak A van de muur;
- de kwaliteit van de isolatie. Die kwaliteit wordt aangegeven door de U-waarde in $W/(m^2 \cdot °C)$. Hoe hoger de U-waarde, des te slechter is de isolatie.

De hoeveelheid warmte Q_w die per seconde door een wand wegstroomt, kun je berekenen met:

$$Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Als je U invult in $W/(m^2 \cdot °C)$, het oppervlak in m^2 en het temperatuurverschil in °C, vind je het warmteverlies in J/s.

Je kunt de U-waarde verkleinen door de isolatie te verbeteren, bijvoorbeeld met glaswol, steenwol of polystyreen (figuur 25). Die isolatiematerialen zitten vol met kleine ruimtes, gevuld met lucht. Omdat lucht de warmte zeer slecht geleidt, neemt de U-waarde sterk af. Een 5 cm dikke laag isolatiemateriaal kan het warmteverlies door een muur 4× zo klein maken.
Bij veel huizen bestaat de buitenmuur uit twee muren met een ruimte ertussen (de spouw). Bij **spouwmuurisolatie** wordt de muur geïsoleerd door de spouw te vullen met isolatiemateriaal.



▲ **figuur 25**
Isolatiematerialen bestaan grotendeels uit lucht.

Plus Energieneutraal wonen

In 2013 gebruikte een gemiddeld huishouden 3500 kWh elektrische energie en 1600 m^3 gas. De gemiddelde energierekening was daardoor ruim € 1.900,- per jaar.

Bewoners kunnen hun energiegebruik duurzamer maken door:
- hun gedrag te veranderen door vaker het licht uit te doen of de thermostaat lager te zetten;
- efficiëntere apparaten te gebruiken, zoals ledlampen;
- het huis beter te isoleren;
- andere energiebronnen te gebruiken, zoals de zon met zonnecellen of zonnecollectoren.

▼ **figuur 26**
een experimenteel (bijna) energieneutraal huis



In de toekomst moeten gebouwen **energieneutraal** zijn. Dat wil zeggen dat een gebouw gedurende een jaar evenveel energie opwekt als verbruikt (figuur 26). Het mag wel energie 'van buitenaf' gebruiken, als het daar maar evenveel energie voor teruggeeft. Een huiseigenaar kan bijvoorbeeld het aardgasverbruik in de winter compenseren door in de zomer extra 'zonnestroom' te leveren aan het elektriciteitsnet. Dat lukt alleen als het huis maximaal geïsoleerd is en als het zo veel mogelijk gebruik maakt van de invallende zonnestraling.

opgaven

24 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe komt het dat de temperatuur in huis op een gegeven moment niet meer stijgt, terwijl de radiatoren toch warmte afgeven?
- **b** Waarom slaat een cv-ketel bij koud weer telkens na een poosje weer aan?
- **c** Waarom bestaat isolatiemateriaal grotendeels uit lucht?
- **d** Wat is een dynamisch evenwicht?

25 Welke drie factoren bepalen hoeveel warmte er per seconde door een muur naar buiten 'weglekt'?



▲ **figuur 27**
een emmer vullen?

26 In de tekst staan twee voorbeelden van een dynamisch evenwicht: de verwarming in het huis en het vullen van een emmer met een gat. Je kunt die twee voorbeelden vergelijken. Bij het huis zijn de belangrijke woorden: cv-ketel, warmte, temperatuur en warmteverlies.

a Geef bij elk van die woorden het overeenkomstige woord bij het vullen van de emmer.

b In figuur 27 is iets vreemd aan de hand.
Leg uit hoe de opstelling werkt.

27 Als het buiten vriest en je pakt je fiets uit de schuur, voelt je fietsstuur veel kouder aan dan je zadel.
Geef daarvoor een verklaring.

28 Liefhebbers van natuurijs hebben een hekel aan sneeuw. Als er een dikke laag sneeuw op het ijs ligt, groeit het nauwelijks meer aan, ook al vriest het hard.
Leg uit waardoor het ijs ondanks de strenge vorst toch niet dikker wordt.

29 Bij de bouw van nieuwe huizen wordt veel aandacht besteed aan het beperken van het energiegebruik. Zo'n huis heeft vaak aan één kant grote ramen zodat er zelfs midden in de winter nog warmte naar binnen kan komen.

a Welke energiebron verwarmt het huis dan?

b Welke vorm van warmtetransport brengt de warmte het huis in?

c Aan welke kant kan een raam daarvoor het best zitten: aan de noord-, de zuid-, de oost- of de westkant?

d Aan welke kant van het huis kun je het best alleen kleine ramen hebben?

30 Sebastiaan heeft een oud huis gekocht, met ongeïsoleerde spouwmuren. In een folder leest hij dat zulke muren slecht isoleren (figuur 28). Sebastiaan laat de spouwmuren (in totaal 55 m^2) isoleren.

a Bereken hoeveel MJ warmte hij daardoor per jaar bespaart.

b Bereken hoeveel m^3 aardgas hij daarmee jaarlijks bespaart.

c In 2013 kostte aardgas € 0,65 per m^3.
Bereken daarmee de afname van zijn jaarlijkse energierekening.

d In de folder staat dat je met spouwmuurisolatie 'honderden euro's per jaar kunt besparen'.
Ben jij het met deze uitspraak eens? Licht je antwoord toe.

▼ **figuur 28**
een gedeelte uit een folder over spouwmuurisolatie

SPOUWMUURISOLATIE: PRIMA IDEE!

Een 'lege' spouwmuur isoleert minder goed dan veel mensen denken. Gemiddeld verdwijnt er door één vierkante meter spouwmuur 580 MJ warmte per jaar. Dat komt overeen met circa 18 m^3 aardgas. Een goed geïsoleerde spouwmuur laat veel minder warmte door. Het warmteverlies door zo'n muur bedraagt slechts 260 MJ (8 m^3 aardgas) per vierkante meter per jaar. Het is dus beslist aan te raden om uw spouwmuren te isoleren. U kunt er honderden euro's per jaar mee besparen.



U-waarde

Met de *U*-waarde kun je een schatting maken van het warmteverlies door een dak, raam of vloer. Daarvoor gebruik je de volgende vuistregel:

Het warmteverlies per jaar door 1 m² van een dak, wand of raam komt overeen met een gebruik van 10 × U m³ aardgas.

Enkele voorbeelden (U in W/(m² · °C))

- raam van enkel glas: *U* = 6
- raam van dubbel glas: *U* = 3
- ongevulde spouwmuur: *U* = 1,8
- gevulde spouwmuur: *U* = 0,8

▲ **figuur 29**
een website over de *U*-waarde van ramen en muren

***31** Suzanne heeft een oud huisje gekocht met ramen van enkel glas. Op een website ziet ze hoeveel warmte er door enkel glas verloren gaat (figuur 29).

a De ramen van Suzannes huisje hebben een totale oppervlakte van 14 m².
Bereken hoeveel m³ aardgas er per stookseizoen nodig is om het warmteverlies door de enkele ramen op te heffen.

b Suzanne besluit om het enkel glas overal te vervangen door dubbel glas.
Bereken met figuur 29 hoeveel m³ aardgas Suzanne daardoor per stookseizoen bespaart.

c In 2013 kostte de aanleg van dubbel glas € 100,- per m² en kostte aardgas € 0,65 per m³.
Bereken op basis van deze prijzen na hoeveel jaar Suzanne de kosten van het dubbel glas heeft terugverdiend.

***32** Vervolg van opgave 31.
Op een winterdag is de buitentemperatuur –4 °C. Binnen is het lekker warm met een temperatuur van 20 °C.

a Bereken met $Q_w = U \cdot A \cdot \Delta T$ hoeveel MJ warmte Susanne per seconde uitspaart door het installeren van dubbel glas.

b Bereken de besparing in MJ per dag, als de verwarming overdag (16 uur) aanstaat.

c Aardgas levert bij verbranding 32 MJ per m³.
Bereken hoeveel m³ aardgas Suzanne per dag bespaart.

d Ga na of dat ongeveer overeenkomt met je berekening met de vuistregel bij 31b.

Plus Energieneutraal wonen

33 Zoek op internet informatie over een (bijna) energieneutraal woonhuis.

a Wat kun je doen om het verbruik van energie in huis te verlagen?

b Wat kun je doen om zelf in het huis bruikbare energie te produceren?

c Wordt er energie ‘van buitenaf’ gebruikt? Wat levert het huis daarvoor terug?

d Heeft het wonen in een energieneutraal woonhuis ook nadelen en, zo ja, welke?

34 Een energieneutraal huis moet energiegebruik uit fossiele brandstoffen compenseren, bijvoorbeeld door met zonnecellen elektrische energie terug te leveren. Een gemiddeld huishouden gebruikt 3500 kWh elektrische energie en 1600 m³ gas. 1 m³ gas levert 8,9 kWh.

a Bereken hoeveel kWh een gemiddeld huishouden per jaar gebruikt.

b Een zonnepaneel levert gemiddeld 90 kWh per jaar.
Bereken hoeveel m² zonnepanelen er nodig is.

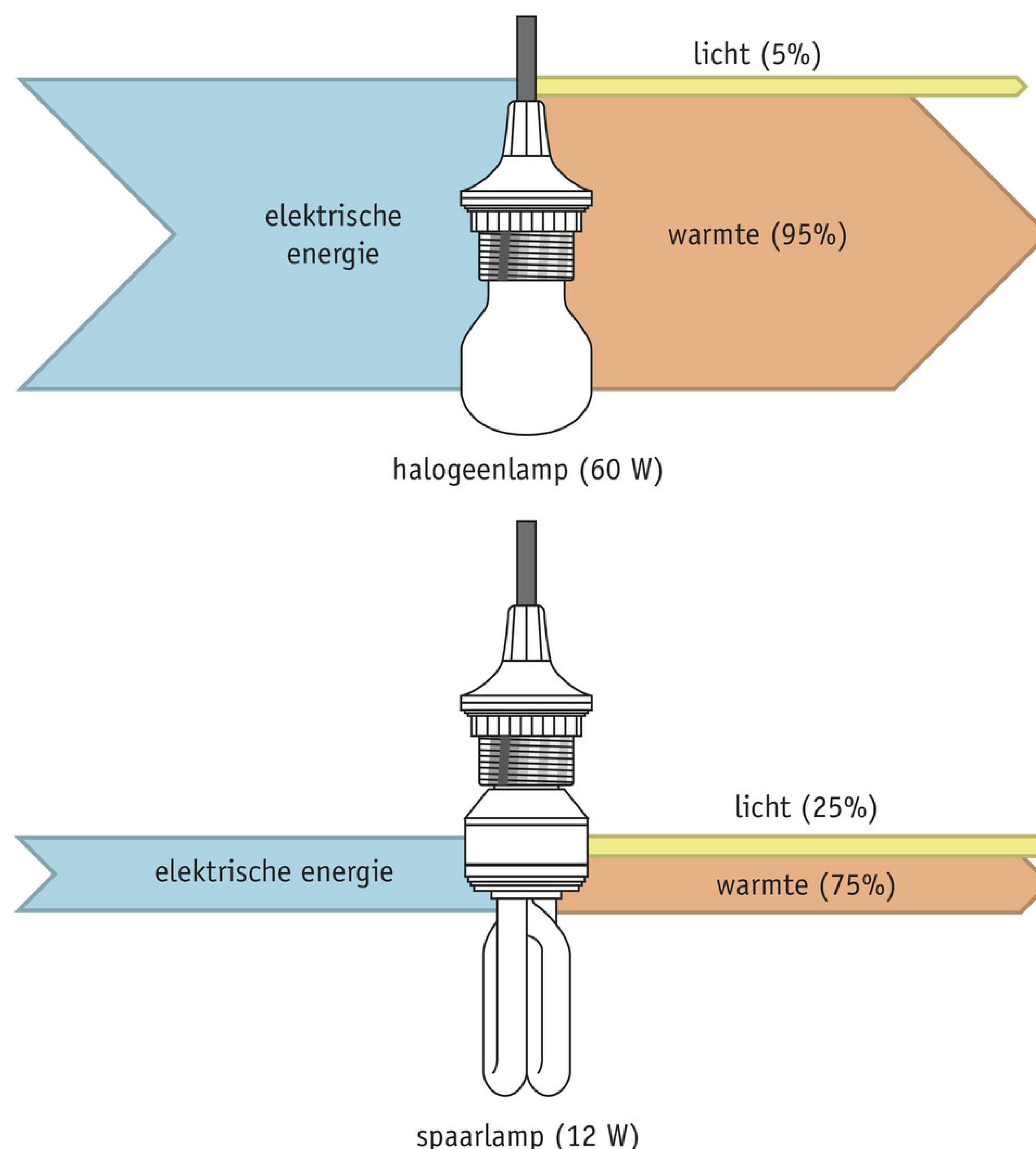
c Leg uit waarom het energiegebruik van de bewoners van een energieneutraal huis wel veel lager moet zijn dan gemiddeld.

4 Rendement

Door apparaten te gebruiken die zuinig zijn met elektrische of chemische energie, zorg je ervoor dat de voorraden aardgas en steenkool minder snel opraken, help je milieuproblemen verminderen en bespaar je geld.

Duurzaam energiegebruik

Je kunt het energiegebruik van apparaten alleen zinvol vergelijken als ze een vergelijkbare prestatie leveren. Je kunt bijvoorbeeld een halogeenlamp en een spaarlamp alleen vergelijken als ze evenveel licht geven.
In figuur 30 zie je de energie-stroomdiagrammen van een halogeenlamp en een spaarlamp. Een halogeenlamp zet maar 5% van de elektrische energie om in licht, de rest wordt omgezet in warmte. De halogeenlamp heeft dan een rendement van 5%. Het **rendement** geeft aan hoeveel procent van de toegevoerde energie wordt gebruikt voor een nuttige energiesoort. Een spaarlamp heeft een rendement van 25% en is daarom in het gebruik duurzamer dan de halogeenlamp. Het rendement van een ledlamp is aanzienlijk groter dan dat van een spaarlamp.
De spaarlamp en de ledlamp kunnen dus evenveel licht leveren als de halogeenlamp, maar door het hogere rendement hebben ze daar veel minder elektrische energie voor nodig.



▶ **figuur 30**
twee energie-stroomdiagrammen

Een energie-stroomdiagram heeft drie onderdelen: de toegevoerde energiesoort, een apparaat en de geleverde energiesoorten. Daaraan kun je zien dat er drie mogelijkheden zijn om je energiegebruik duurzamer te maken:

1 de toegevoerde energiesoort: kies duurzame energiebronnen, zoals elektrische energie uit zon en wind;
2 het apparaat: kies apparaten met een hoog rendement, bijvoorbeeld ledlampen;
3 de geleverde energie: beperk je energievraag, doe het licht uit als dat niet meer nodig is.

Het rendement berekenen Proef 5

Je kunt het rendement η (een Griekse letter die je uitspreekt als èta) van een apparaat berekenen met de formule:

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$

E_{nut} is de hoeveelheid energie die in een nuttige vorm wordt geleverd. Bij een lamp is dat de hoeveelheid energie die de lamp als licht (stralingsenergie) levert.
E_{tot} is de hoeveelheid energie die in totaal wordt gebruikt. Bij een lamp is dat de opgenomen elektrische energie.

Je krijgt dezelfde uitkomst, als je invult:
– hoeveel energie er per seconde nuttig wordt gebruikt;
– hoeveel energie er per seconde in totaal wordt gebruikt.

Je kunt het rendement dus ook berekenen met de formule:

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\%$$



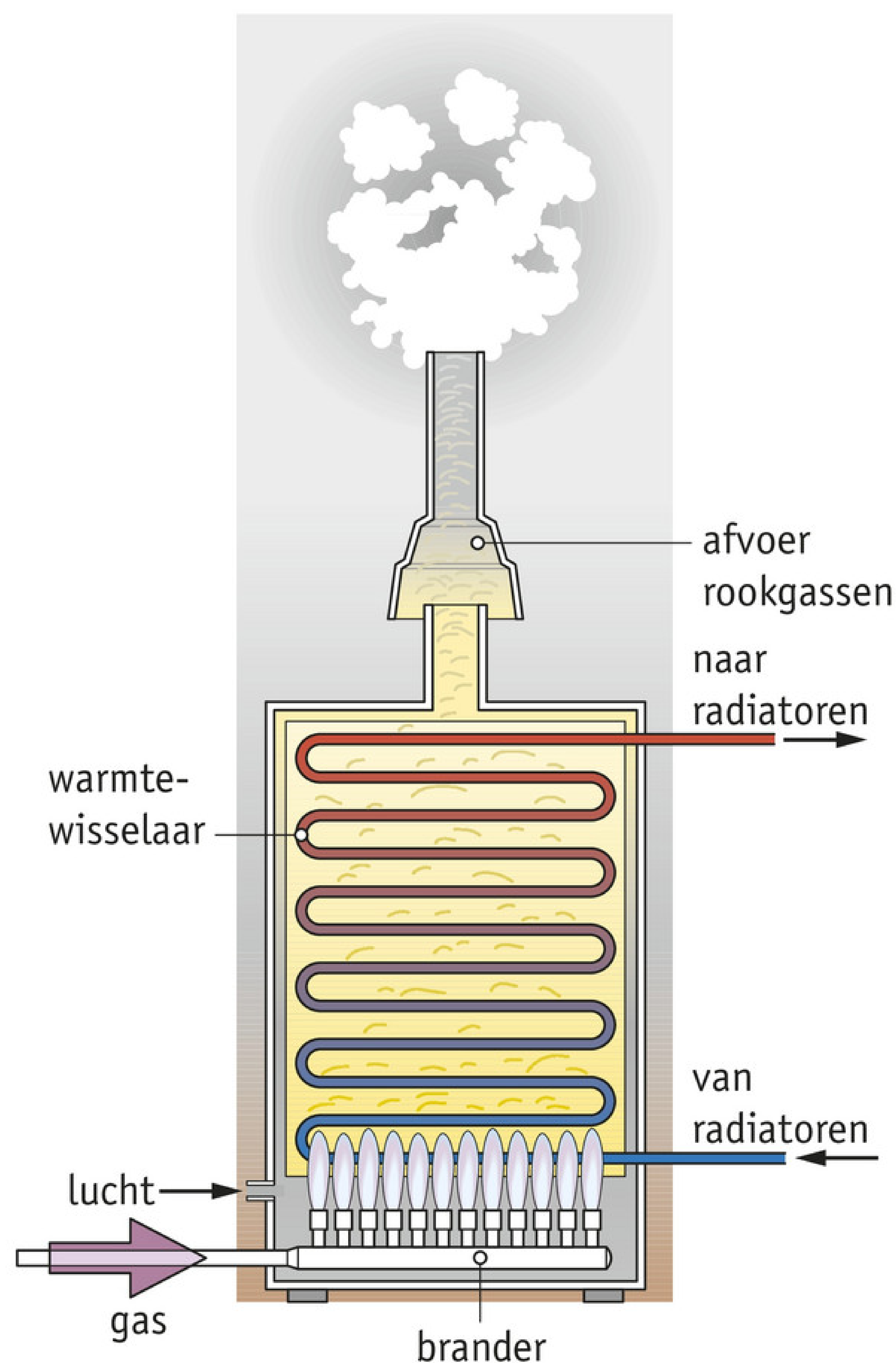
▲ **figuur 31**
Het dak van deze berghut biedt ruimte aan drie zonnepanelen van elk 1,8 m^2.

Voorbeeldopgave 4
De zon levert in de zomer rond het middaguur een vermogen van 1000 W/m^2. Elk van de zonnepanelen op de berghut van figuur 31 levert dan een elektrisch vermogen van 210 W.
Bereken het rendement van een zonnepaneel.

gegevens $P_{tot} = 1{,}8 \times 1000 = 1800$ W
$P_{nut} = 210$ W

gevraagd $\eta = ?$

uitwerking $\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\% = \frac{210}{1800} \cdot 100\% = 12\%$



▲ **figuur 32**
de dwarsdoorsnede van een cv-ketel

Het rendement van een cv-ketel

In een cv-ketel wordt aardgas verbrand (figuur 32). De hete verbrandingsgassen stromen daarna door een warmtewisselaar. Ze staan dan het overgrote deel van hun warmte aan het water af. De overblijvende warmte verdwijnt met de verbrandingsgassen naar buiten.

De E_{tot} (de totale hoeveelheid opgenomen energie) bij een cv-ketel is gelijk aan de hoeveelheid warmte die het verbrande aardgas heeft geleverd. Om dat te kunnen berekenen, heb je twee gegevens nodig: het volume van het aardgas (in m^3) en de **verbrandingswarmte** van aardgas. Het aardgas in Nederland heeft een verbrandingswarmte van 32 MJ/m^3. Er komt dus 32 MJ (32 miljoen J) warmte vrij als je 1 m^3 aardgas verbrandt.

Om E_{nut} (de hoeveelheid nuttig geleverde energie) te bepalen, moet je weten hoeveel warmte door het water is opgenomen. Dat kun je berekenen met $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

Als je E_{tot} en E_{nut} kent, kun je het rendement van de cv-ketel berekenen. Het rendement van een moderne hr-ketel (hr betekent 'hoog rendement') ligt boven de 90%.

Voorbeeldopgave 5

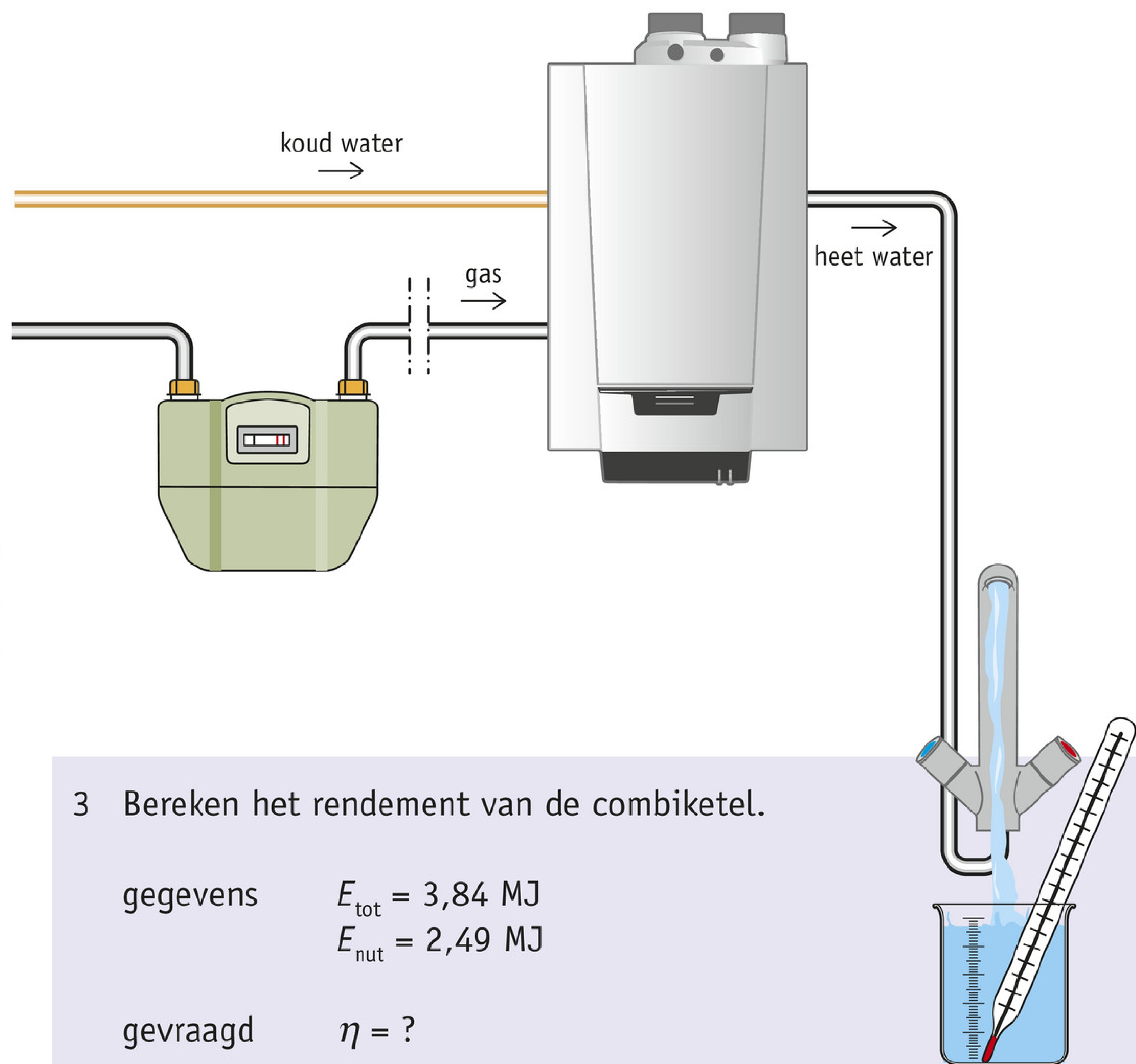
Een combiketel verbrandt 0,12 m^3 aardgas en verwarmt daarmee 11 L water van 18 °C tot 72 °C (figuur 33).
Bereken het rendement van de cv-ketel.

1 Bereken E_{tot} = hoeveel warmte het aardgas heeft geleverd.

gegevens	Er is 0,12 m^3 aardgas verbrand. De verbrandingswarmte van aardgas is 32 MJ/m^3.
gevraagd	E_{tot} = ?
uitwerking	$E_{tot} = 0{,}12 \times 32 = 3{,}84$ MJ

2 Bereken E_{nut} = hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

gegevens	De massa m van 11 L water = $1{,}1 \cdot 10^4$ g. De temperatuurstijging $\Delta T = 72 - 18 = 54$ °C. De soortelijke warmte c van water = 4,2 J/g · °C.
gevraagd	E_{nut} = ?
uitwerking	$E_{nut} = Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}2 \times 1{,}1 \cdot 10^4 \times 54 =$ $2{,}49 \cdot 10^6$ J = 2,49 MJ



▶ **figuur 33**
Zo kun je het rendement van een cv-ketel bepalen.

3 Bereken het rendement van de combiketel.

gegevens E_{tot} = 3,84 MJ
E_{nut} = 2,49 MJ

gevraagd η = ?

uitwerking $$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\% = \frac{2{,}49}{3{,}84} \cdot 100\% = 65\%$$

Plus Warmtekrachtkoppeling

Elektriciteitscentrales hebben maar een rendement van ongeveer 40%. De overige 60% is afvalwarmte die via een koelsysteem wordt afgevoerd. Bij een centrale met **warmtekrachtkoppeling** wordt ook de afvalwarmte nuttig gebruikt, bijvoorbeeld om huizen of kassen in de omgeving van de centrale te verwarmen. Het rendement van de centrale stijgt daarmee tot boven de 80%. In april 2012 maakten ongeveer 580 000 huishoudens in Nederland gebruik van deze **stadsverwarming** (figuur 34).

▼ **figuur 34**
aanleg van stadsverwarming



Warmtekrachtkoppeling wordt ook veel gebruikt bij fabrieken, die veel warmte én veel 'kracht' nodig hebben. Kracht betekent hier bijvoorbeeld het aandrijven van machines. De afvalwarmte van de machines wordt dan bijvoorbeeld gebruikt voor de verwarming van gebouwen.

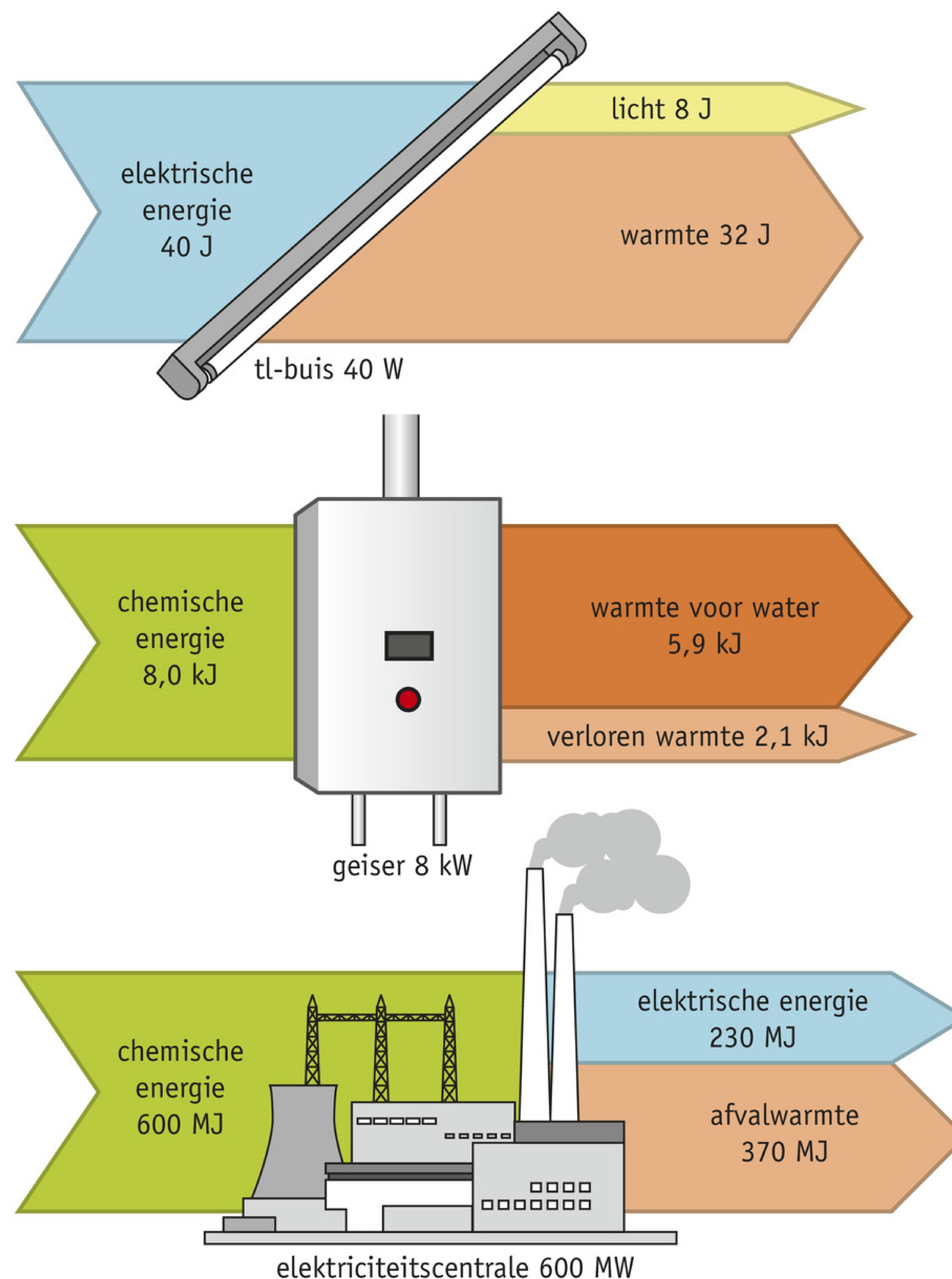
Ook bij huizen is warmtekrachtkoppeling in opkomst. De gebruikelijke hr-ketel wordt dan vervangen door een HRe-ketel, die naast warmte ook elektriciteit levert. In zo'n ketel zit een aardgasmotor die een dynamo aandrijft en die daarbij 'afvalwarmte' produceert. Als er warmte in huis nodig is, gaat die motor draaien. De 'afvalwarmte' verwarmt het huis of levert warm water. De geproduceerde elektriciteit wordt gebruikt of teruggeleverd aan het net. De HRe-ketel gebruikt wel wat meer gas, maar het elektriciteitsgebruik daalt zó sterk, dat de ketel veel energie bespaart. In 2013 kostte een HRe-ketel 4× zo veel als een hr-ketel, maar men verwacht dat die prijs snel zal dalen.

opgaven

35 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waarom mogen winkels geen gloeilampen meer verkopen?
- **b** Met welke formules kun je het rendement van een apparaat berekenen?
- **c** Wat wordt er bedoeld met 'de verbrandingswarmte van een brandstof'?

36 In de tekst staan drie manieren om duurzamer met energie om te gaan. Geef van elk van die drie een voorbeeld.

37 In figuur 35 zie je drie energie-stroomdiagrammen. Bereken het rendement van elke energie-omzetting.



▶ **figuur 35**
drie energie-stroomdiagrammen

38 1 m^3 aardgas levert bij verbranding 32 MJ warmte.
Bereken hoeveel MJ daarvan nuttig wordt gebruikt:
a in een ouderwetse cv-ketel (η = 75%).
b in een moderne hr-ketel (η = 90%).

***39** In de bureaulamp van Mamud zit een halogeenlampje. Het lampje is aangesloten op het lichtnet via een netadapter. De netadapter neemt 24 W elektrisch vermogen op (bij een spanning van 230 V) en geeft 19 W elektrisch vermogen af (bij een spanning van 12 V).
a Bereken het rendement van de netadapter.
b Wat gebeurt er met de 5W-vermogen die niet nuttig wordt gebruikt?
c Teken het energie-stroomdiagram van de adapter op de manier van figuur 35. Geef elke pijl de juiste breedte.
d Het lampje heeft een rendement van 25%.
Teken het energie-stroomdiagram van het lampje en de adapter samen.
e Bereken het rendement van de adapter en de lamp samen.

40 Een combiketel verbrandt 0,30 m^3 aardgas in 10 min. In die tijd wordt er 28 L water verwarmd van 15 °C tot 85 °C.
Bereken:
a hoeveel warmte er bij de verbranding van het aardgas vrijkwam.
b hoeveel warmte er door het water is opgenomen.
c het rendement van de combiketel.

41 Hoeveel zonnestraling er op een zonnepaneel met zonnecellen valt, hangt ook af van de hoek waaronder de straling invalt. Als het zonlicht in de zomer loodrecht op het zonnepaneel invalt, heeft het in Nederland maximaal een vermogen van 1000 W/m^2.
a In de praktijk is het vermogen van de zonnestraling meestal veel lager.
Noem daarvoor twee redenen.
b Teken het energie-stroomdiagram van een zonnepaneel met een rendement van 15%.
c Een zonnepaneel heeft een oppervlak van 8,0 m^2 en een rendement van 15%.
Bereken het maximale elektrisch vermogen in kW dat het zonnepaneel levert.
d Als vuistregel hanteert men dat een zonnepaneel per jaar 95 kWh per m^2 oplevert.
Bereken hoeveel uur maximale zonnestraling daarvoor nodig is.

42 Een elektrische flessenwarmer heeft een vermogen van 80 W. Het duurt 8,5 min voor de temperatuur van de 200 g water in de zuigfles gestegen is van 7 °C tot 37 °C.
a Bereken het rendement van de flessenwarmer. Schrijf de hele berekening op.
b Geef twee oorzaken voor dit lage rendement (zelf bedenken).



Wasdrogers op aardgas: superzuinig!
Wasdrogers zijn in ons regenachtige land een zegen, maar ze gebruiken veel elektriciteit. Uw energierekening kan erover meepraten. De gasgestookte wasdroger gaat veel zuiniger om met energie. Daarmee bespaart u jaarlijks de helft aan energiekosten van het drogen. Bovendien belast gasgebruik het milieu minder dan elektriciteitsgebruik.
Bron: www.milieucentraal.nl

▲ **figuur 36**
reclame voor wasdrogers

43 In figuur 36 zie je een gedeelte van een folder over gasgestookte wasdrogers.
- **a** Noem twee argumenten om voor een gasgestookte wasdroger te kiezen.
- **b** Hoe komt het dat de gasgestookte wasdroger het milieu minder belast dan de elektrische droger (zelfs als de centrale aardgas verbrandt)?
- **c** Welke manier om de was te drogen is nog milieuvriendelijker?

Plus Warmtekrachtkoppeling

44 Vaak worden alle huizen in een nieuwbouwwijk op stadsverwarming aangesloten.
- **a** Waarom moeten de buizen die het hete water naar de huizen vervoeren, goed geïsoleerd zijn?
- **b** Leg uit waarom je in die huizen niet op gas kunt koken.
- **c** Leg uit waarom de elektriciteitscentrale die voor de stadsverwarming zorgt, daarnaast ook nog een installatie moet bouwen om de afvalwarmte met koelwater af te voeren.

45 Het gemiddelde huishouden gebruikt per jaar 3500 kWh elektrische energie en 1600 m^3 gas. Elektrische energie kost € 0,22 per kWh en gas kost € 0,65 per m^3.
- **a** Bereken het totale energiegebruik in MJ per jaar als 1 m^3 gas 32 MJ levert.
- **b** Bereken de totale kosten van het energiegebruik.
- **c** Na installatie van een HRe-ketel stijgt het gasgebruik naar 1700 m^3 en daalt het elektriciteitsgebruik naar 1100 kWh.
  Bereken weer het energiegebruik en de kosten daarvan.
- **d** Met hoeveel procent neemt dan het energiegebruik af?

Practicum

Je docent zal je vertellen van welke proeven je een verslag moet maken.
Zie vaardigheid 10 achter in je boek.

Proef 1 De soortelijke warmte bepalen 30 min

Inleiding

De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de soortelijke warmte van die stof.

Doel

Je leert de soortelijke warmte van een vloeistof bepalen.

Nodig

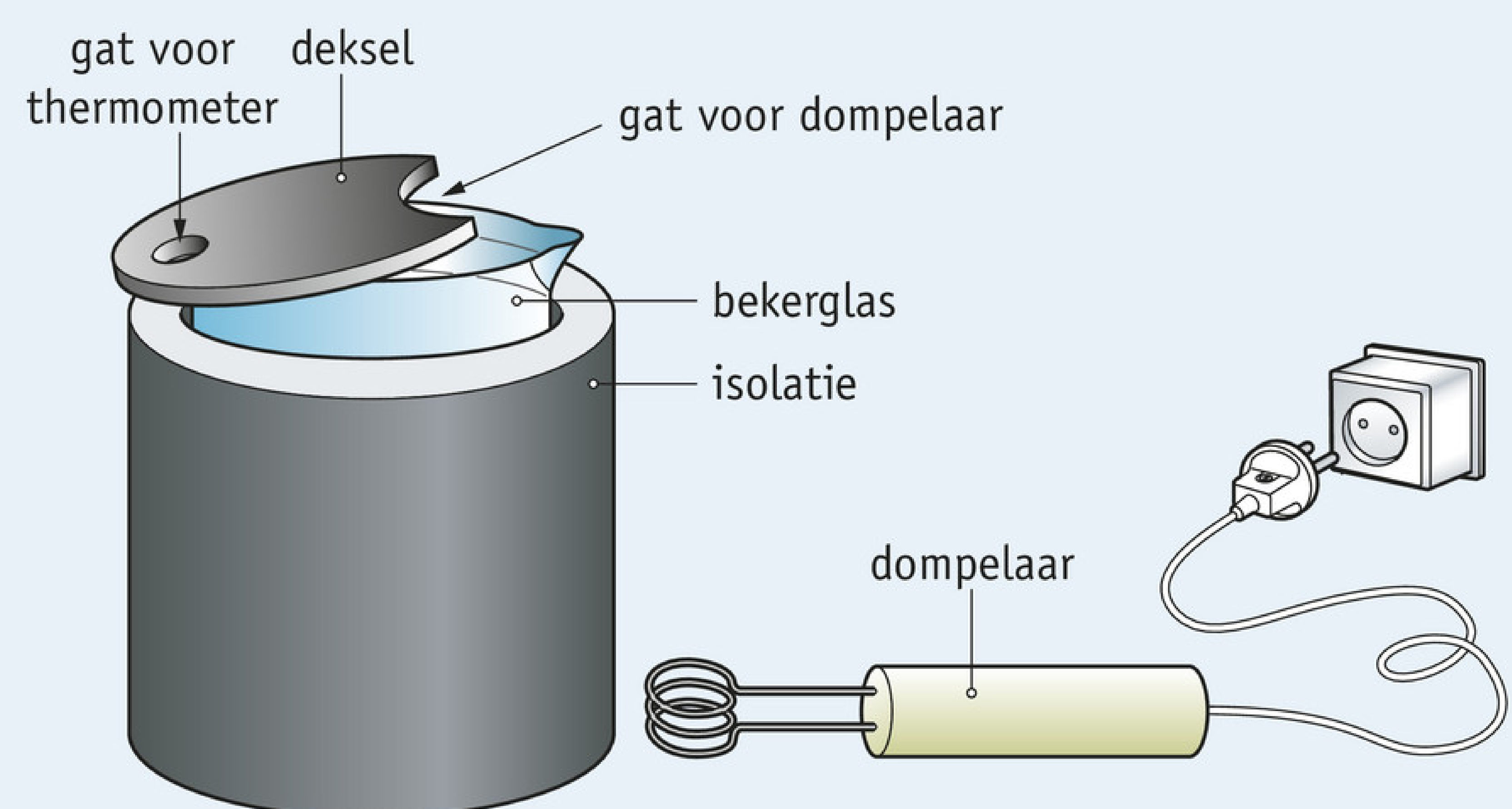
- warmtemeter of geïsoleerd bekerglas (500 mL) met deksel
- thermometer
- dompelaar
- maatcilinder
- stopwatch

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Vul het bekerglas zo precies mogelijk met 500 mL water.
- Zet de dompelaar in het water, maar sluit hem nog niet aan. Sluit het bekerglas af met het deksel (figuur 37).
- Meet de begintemperatuur van het water.
- Sluit de dompelaar aan. Meet de tijd die nodig is om het water 20 °C in temperatuur te laten stijgen.
- Haal de stekker na de proef meteen uit het stopcontact.

1 Noteer het vermogen van de dompelaar, de begintemperatuur en de benodigde tijd.



▲ **figuur 37**
de opstelling van proef 1

Uitwerken

2 Bereken met de formule $E = P \cdot t$ hoeveel warmte de dompelaar heeft afgegeven.

3 Bereken de soortelijke warmte c van water met de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

4 Vergelijk je resultaat met de waarde in tabel 1 op bladzijde 146.
Hoe groot is het verschil?

5 Leg uit waarom deze proef waarschijnlijk een te hoge waarde voor de soortelijke warmte oplevert.

6 Beschrijf wat je aan de proef zou moeten veranderen om een nauwkeuriger waarde te vinden.

Proef 2 De temperatuur van een gasvlam 45 min

Inleiding
Als je iets verwarmt met een brander, gebruik je vaak een blauwe, zacht ruisende vlam.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe groot is de temperatuur van een blauwe, zacht ruisende gasvlam?

Nodig
- geïsoleerd bekerglas met deksel
- dikke roestvrijstalen schroef
- kroezentang
- brander
- thermometer
- maatcilinder
- weegschaal

Uitvoeren en uitwerken
Als je de schroef in een gasvlam houdt, is de temperatuur van de schroef na enkele minuten even hoog als de temperatuur van de vlam. Als je de hete schroef daarna snel onderdompelt in een bekerglas met water, zal de temperatuur van het water stijgen (het water neemt warmte op). Tegelijkertijd zal de temperatuur van de schroef dalen (de schroef staat warmte af). Na enige tijd bereiken het water en de schroef dezelfde eindtemperatuur. In het ideale geval neemt het water evenveel warmte op als dat de schroef afstaat. Op die manier kun je de temperatuur van de vlam bepalen.

Meten
- Vul het bekerglas zo precies mogelijk met 100 mL water.
- Meet de begintemperatuur van het water.
- Bepaal de massa van de schroef.
- Laat de brander branden met een blauwe, zacht ruisende vlam.
- Houd de schroef met de kroezentang enkele minuten in de vlam.
- Dompel de schroef daarna zo snel mogelijk onder in het water. Leg het deksel op het bekerglas.
- Bepaal de eindtemperatuur T_e: dit de hoogste temperatuur die het water bereikt, voordat het weer begint af te koelen.

1 Noteer alle meetgegevens in je schrift.

Uitwerken

2 Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen. Je kunt de soortelijke warmte van water opzoeken in tabel 1 op bladzijde 146.

3 Stel de opgenomen warmte gelijk aan de afgestane warmte.
Bereken de begintemperatuur van de schroef.
De soortelijke warmte van roestvrij staal c_{rvs} is 0,46 J/g·°C.

4 Is de temperatuur die je bij vraag 4 hebt berekend, te hoog of te laag? Leg uit.

5 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 3 Warmtegeleiding 15 min

Inleiding
Kookpannen zijn van metaal, omdat metalen de warmte goed doorgeven. Ze hebben vaak kunststof handgrepen, omdat kunststoffen de warmte juist niet goed doorgeven. De warmtegeleiding door materialen vertoont dus grote verschillen.

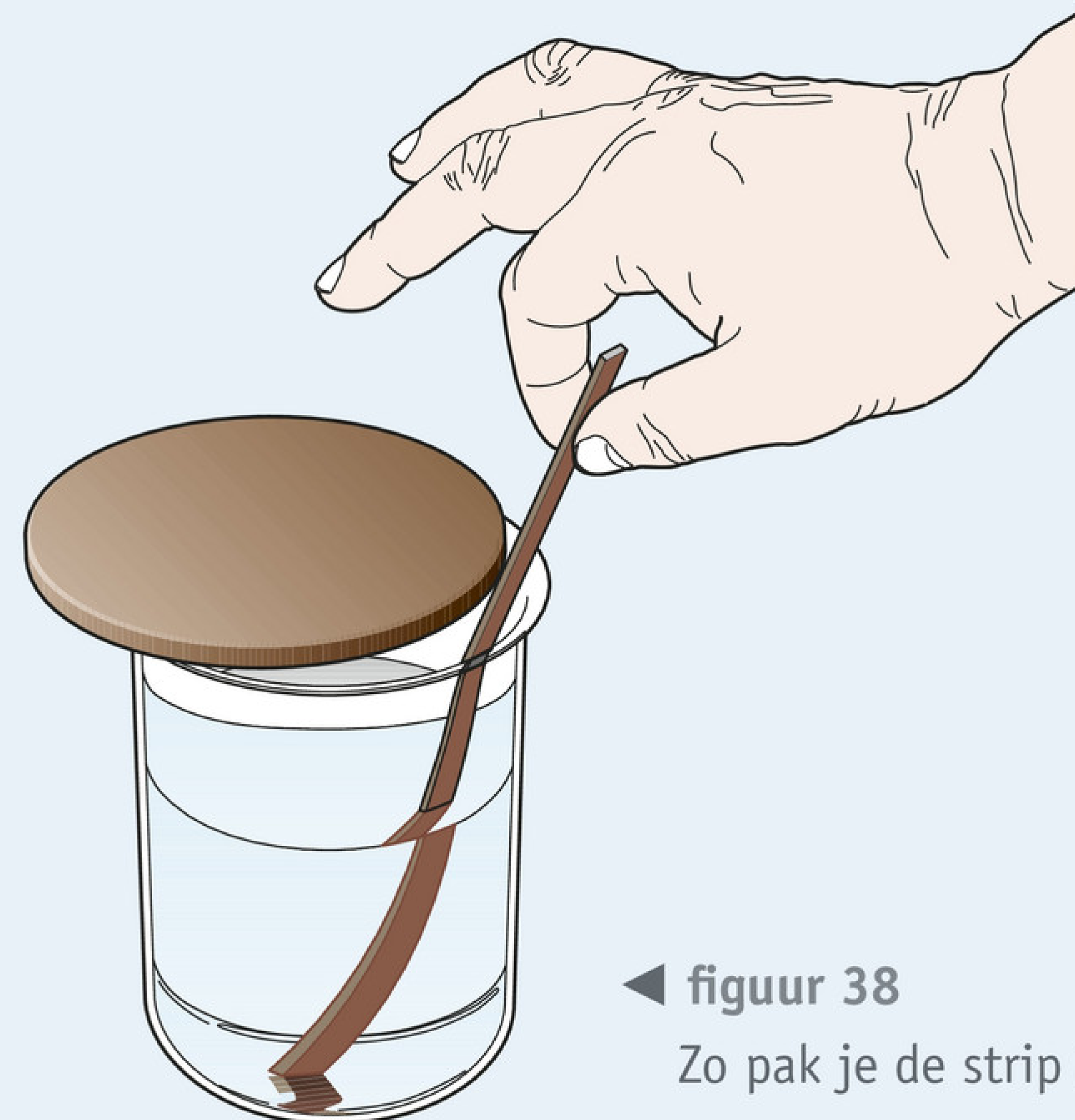
Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Geleidt het ene metaal de warmte veel beter dan het andere of geleiden metalen warmte ongeveer even goed?

Nodig
- bekerglas
- heet water
- deksel
- koperen strip
- twee strips van een ander metaal, bijvoorbeeld ijzer of lood
- kunststof strip

Uitvoeren en uitwerken

- Vul het bekerglas voor driekwart met heet water.
- Leg het deksel op het bekerglas. Schuif de koperen en de ijzeren strip onder het deksel door in het hete water (figuur 38).
- Pak meteen daarna met de ene hand de koperen strip en met de andere hand de ijzeren strip op dezelfde hoogte boven het bekerglas vast (figuur 38). Pas op dat het bekerglas niet omvalt.
- Herhaal die proef met de ijzeren en de loden strip.
- Herhaal die proef met de loden en de kunststof strip.

1 Zet de materialen in een volgorde van goed naar slecht geleiden.
2 Kun je zeggen dat metalen betere warmtegeleiders zijn dan kunststoffen?
3 Terwijl je de proef doet, daalt de temperatuur van het water in het bekerglas. Heeft dat invloed op je antwoord bij vraag 1 en 2?
4 Beantwoord de onderzoeksvraag.



◀ **figuur 38**
Zo pak je de strip beet.

Proef 4 Stroming in water 15 min

Inleiding

Als water op één plaats wordt verwarmd, ontstaat er een stroming. Zo kan de warmte zich verspreiden.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Hoe gaat het water in een reservoir stromen als het op de bodem warmer is dan aan het oppervlak?

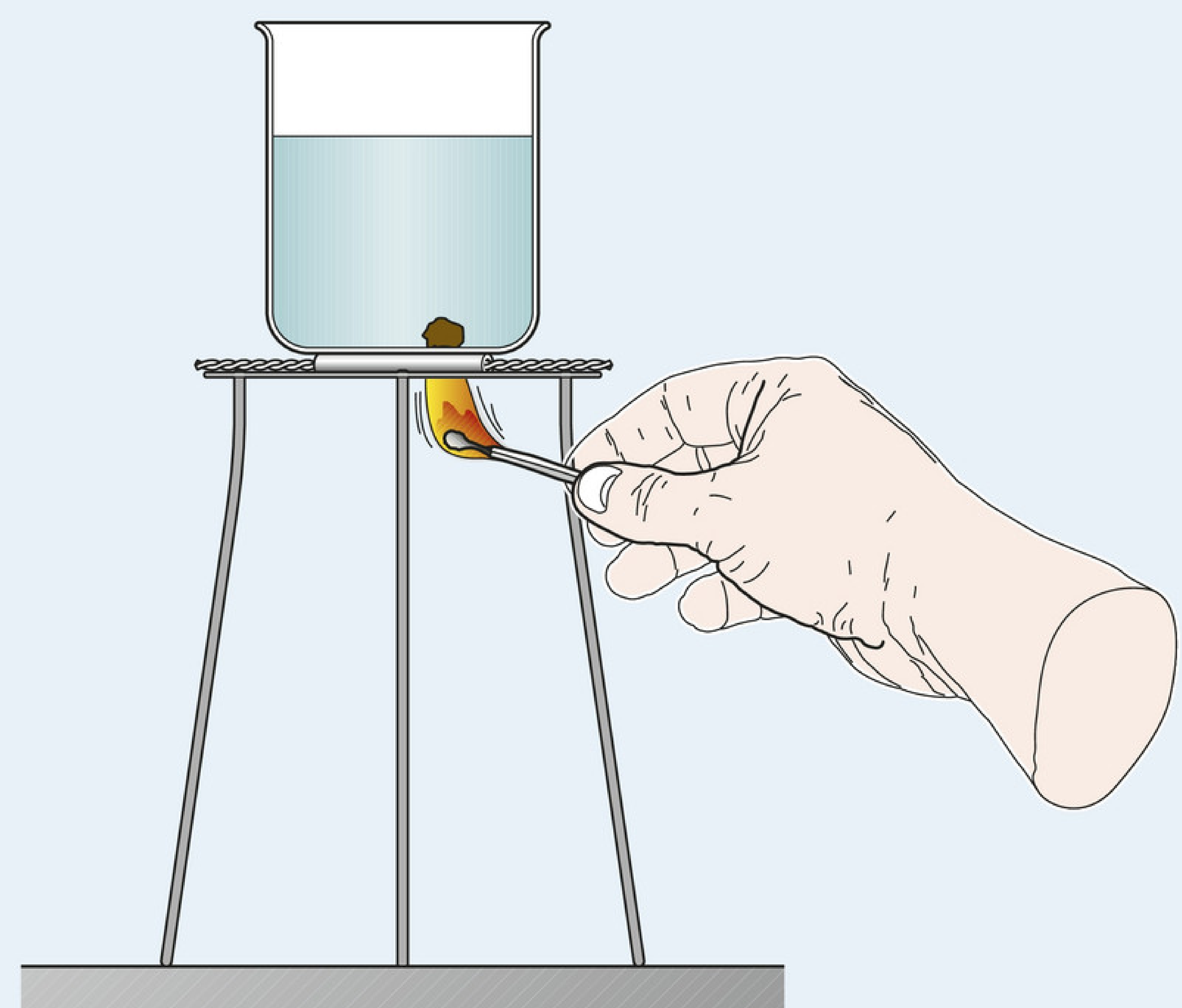
Nodig

- driepoot
- pijpensteeldriehoek
- bekerglas
- kristal kaliumpermanganaat
- lucifers

Uitvoeren en uitwerken

- Vul het bekerglas voor tweederde met water. Maak daarna de opstelling van figuur 39.
- Laat voorzichtig aan een van de zijkanten een kristal kaliumpermanganaat in het bekerglas vallen.
- Verwarm met een lucifer het bekerglas recht onder de plaats waar het kristal kaliumpermanganaat ligt.

1 Beantwoord de onderzoeksvraag met een schets van de stroming van het water in het bekerglas.



▲ **figuur 39**
de opstelling van proef 4

Proef 5 Het rendement van een waxinelichtje 30 min

Inleiding
Met een waxinelichtje kun je wel water verwarmen, maar dat gaat langzaam en een groot deel van de warmte gaat verloren. Het rendement geeft aan hoeveel procent van de toegevoerde energie ook nuttig wordt gebruikt voor het verwarmen van water.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe groot is het rendement als je water verwarmt met een waxinelichtje?

Nodig
- driepoot
- gaasje
- bekerglas (100 mL)
- maatcilinder
- thermometer
- weegschaal
- waxinelichtje
- lucifers

Uitvoeren en uitwerken
Door het waxinelichtje voor en na de proef te wegen, kun je bepalen hoeveel gram brandstof er is verbrand.

Meten
- Bepaal de beginmassa van het waxinelichtje.
- Doe 50 mL water in het bekerglas.
- Meet de temperatuur van het water.

1 Noteer de beginmassa en de begintemperatuur.

- Maak de opstelling van figuur 40. Steek het waxinelichtje aan.
- Roer af en toe met de thermometer.
- Meet na 6 min opnieuw de temperatuur van het water.
- Blaas het waxinelichtje voorzichtig uit.
- Bepaal opnieuw de massa van het waxinelichtje.

2 Noteer de eindmassa en de eindtemperatuur.

Uitwerken

3 Als er 1,0 g van het waxinelichtje verbrandt, levert dat 40 kJ warmte op.
Bereken hoeveel warmte door het waxinelichtje is geleverd.

4 Zoek in tabel 1 op bladzijde 146 de soortelijke warmte van water op.
Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

5 Bereken met je antwoorden op vraag 3 en 4 het rendement.

6 Vergelijk jouw waarde met die van je medeleerlingen.
Waardoor komt het dat iedereen een andere waarde heeft?

7 Hoe zou je het rendement kunnen verbeteren?

8 Beantwoord de onderzoeksvraag.



▲ **figuur 40**
de opstelling van proef 5

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: de spanning van een zonnepaneel 45 min

Inleiding
Stel je voor: een zonnepaneel levert de meeste spanning (en elektrische energie) als hij precies op de zon is gericht. Een energiebedrijf wil zijn klanten precies kunnen vertellen hoe de richting de opbrengst van de zonnepanelen beïnvloedt. Jij bent bij deze opdracht de onderzoeker die de benodigde gegevens moet verzamelen.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de hoek van inval van de zonnestraling en de spanning die het zonnepaneel levert?

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat zoek je precies op en wat ga je meten? Hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan eventueel verbeteren.
- Voer vervolgens het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.
3 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 7 Een onderzoek uitvoeren: het rendement van een koffieapparaat 40 min

Inleiding
Een waterkoker heeft een hoog rendement en dat geldt ook voor een koffieapparaat. Maar hoe hoog is dat rendement eigenlijk?

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe hoog is het rendement van een koffieapparaat voor filterkoffie?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 6.

Tips
- Gebruik 0,5 L water.
- De gebruikte elektrische energie kun je meten met een verbruiksmeter of berekenen met het opgegeven vermogen en de gemeten tijd.
- De geleverde warmte kun je berekenen met de temperatuurstijging van het water.
- Zie vaardigheid 1, 5 en 10 achter in je boek.

Proef 8 Een onderzoek uitvoeren: een elastiek uitrekken 40 min

Inleiding
Bij het bungeejumpen wordt een elastiek een heel stuk uitgerekt. Bram vraagt zich af of de uitrekking van het elastiek afhangt van de lengte van het elastiek voordat het wordt uitgerekt.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is bij een bepaalde belasting het verband tussen de beginlengte van het elastiek en de uitrekking?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 6.

Tips
- Gebruik voor elke meting een nieuw elastiek.
- Knip het elastiek door en begin met de kortste lengte.
- Teken een diagram van de beginlengte en de maximale uitrekking.
- Zie vaardigheid 1, 7, 8 en 10 achter in je boek.

Proef 9 Een onderzoek uitvoeren: sjoelschijven wegschieten 40 min

Inleiding
Met een elastiekje kun je propjes wegschieten. Je kunt ook sjoelschijven wegschieten over een tafel door een elastiek te spannen en daarmee een sjoelschijf te lanceren.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de afstand u waarover je het elastiek uitrekt en de afstand x die de sjoelschijf daarna aflegt?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 6.

Tip
Zie vaardigheid 1, 7, 8 en 10 achter in je boek.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook op de computer maken.

1 Geef de energie-omzetting:
- **a** in een cv-ketel.
- **b** in een strijkijzer.

2 Neem over en vul in.
- **a** Bij energiegebruik vermindert de … van de energie.
- **b** Als de temperatuur van een stof stijgt, gaan de moleculen van die stof gemiddeld … bewegen.
- **c** De … is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen.
- **d** De eenheid van energie is de … of de … .
- **e** De eenheid van temperatuur is de … of de … .

3 Jan-Maarten heeft een waterkoker met een vermogen van 2400 W.
- **a** Bereken de hoeveelheid warmte in kJ die de waterkoker per minuut produceert.
- **b** Hij vult de waterkoker met 750 mL water van 15 °C.
  Bereken hoeveel seconden het duurt voordat het water kookt als er geen warmte weglekt.

4 Stephanie verwarmt 250 mL water van 15 °C tot 100 °C.
Hoeveel warmte neemt het water daarbij op?
- A 57 kJ
- B 73 kJ
- C 89 kJ
- D 105 kJ

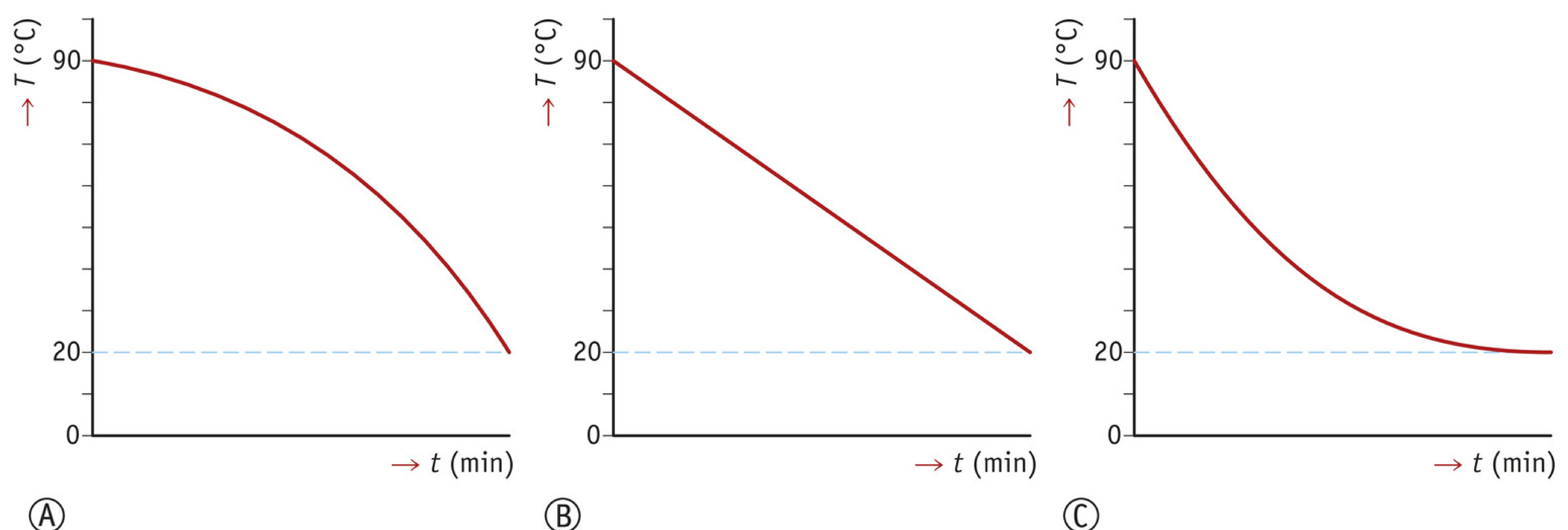
5 Noteer bij elk van de volgende energiebronnen welke bruikbare energiesoort hij levert.
- **a** aardwarmte
- **b** biomassa
- **c** wind
- **d** zonlicht

6 Iwan beweert: “Je kunt het nuttig vermogen van een windturbine berekenen met de formule $P = U \cdot I$.”
Niels beweert: “Het nuttig vermogen van een windturbine is niet constant, maar hangt af van de windsnelheid.”
Wie heeft er gelijk?
- A Iwan en Niels hebben allebei ongelijk.
- B Iwan heeft gelijk, Niels heeft ongelijk.
- C Iwan heeft ongelijk, Niels heeft gelijk.
- D Iwan en Niels hebben allebei gelijk.

7 Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.
- **a** De voorraad fossiele brandstoffen op aarde is eindig.
- **b** Biomassa is een fossiele brandstof, net als aardgas, aardolie en steenkool.
- **c** Wind is een schone energiebron, die geen enkel nadeel voor het milieu heeft.
- **d** Een zonnecollector produceert warm water.
- **e** Steenkool wordt in Nederland gebruikt in een aantal elektriciteitscentrales.

8 Een glas water van 90 °C koelt af tot 20 °C.
Leg uit welke grafiek in figuur 41 het best het temperatuurverloop weergeeft.

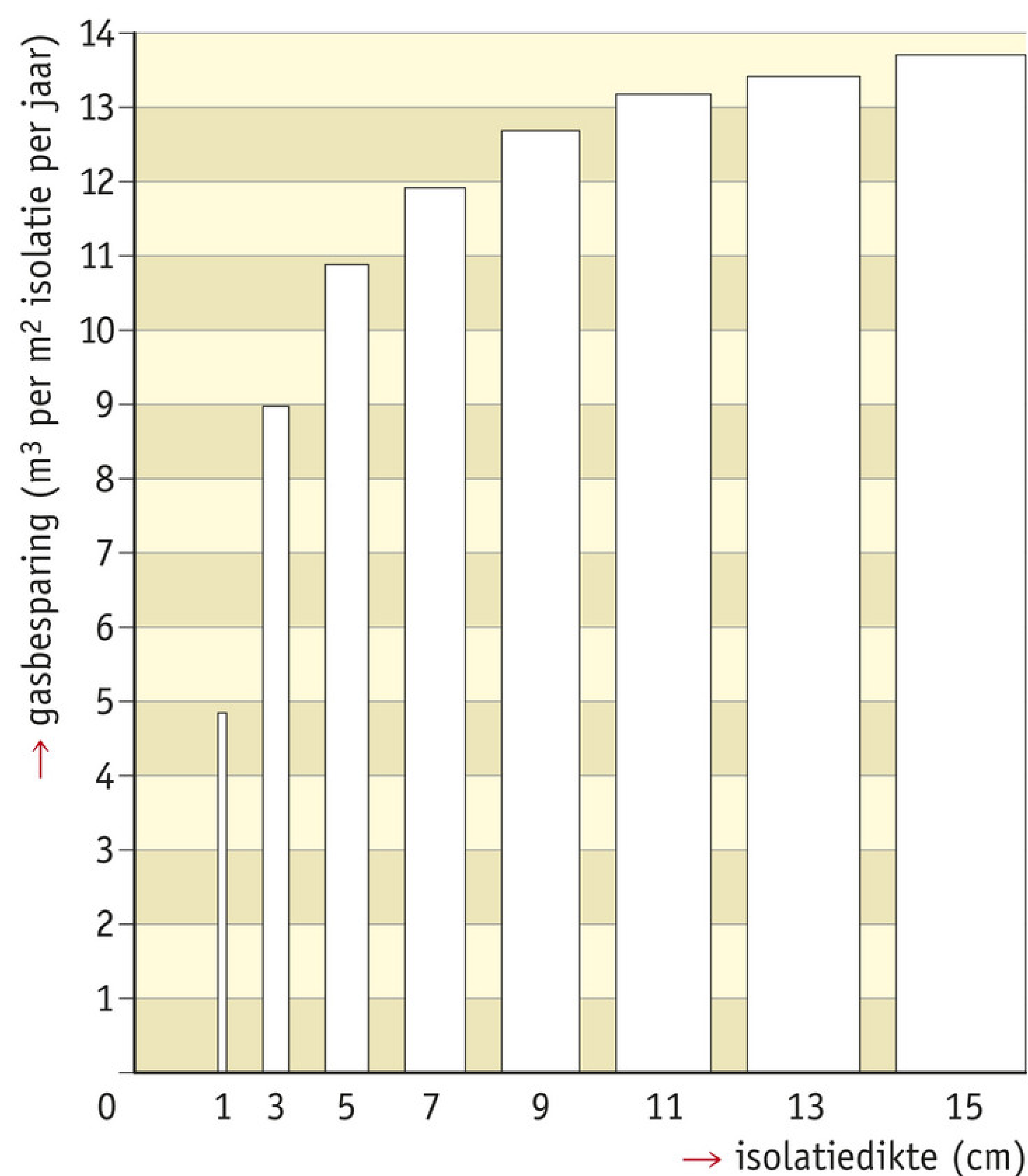
▼ **figuur 41**



9 Als je stikstofgas afkoelt, wordt het vloeibaar bij een temperatuur van 77 K.
Hoeveel graden (°C) is dat?

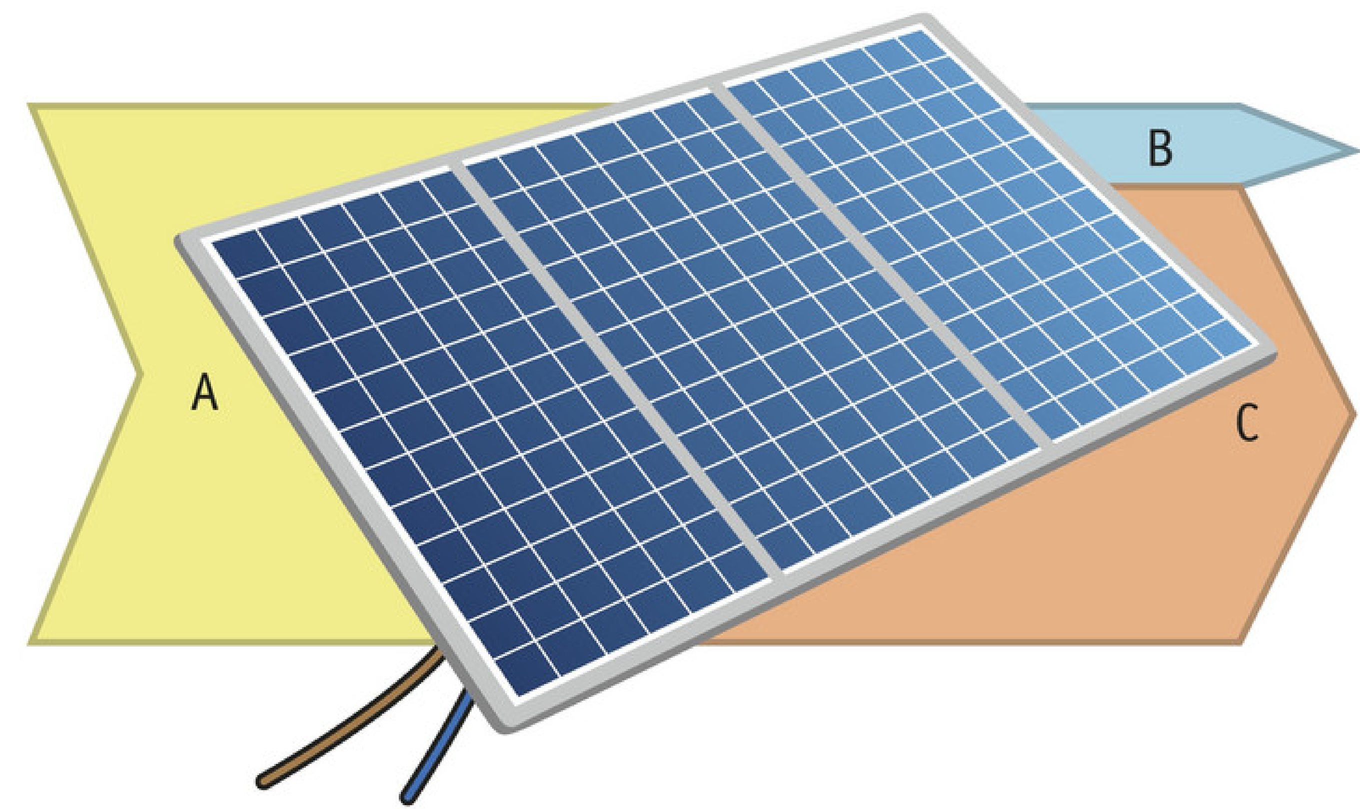
10 Als je wilt weten of je huis goed geïsoleerd is, kun je een thermogram laten maken. Dat doe je als het buiten koud en binnen warm is. Op het thermogram kun je daarna de temperatuur aflezen van de buitenkant van muren, ramen, deuren, enzovoort.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
De onderdelen van een huis die weinig warmte doorlaten, hebben aan de buitenkant een *hoge* / *lage* temperatuur en zenden verhoudingsgewijs *veel* / *weinig* straling uit. Plaatsen waar veel warmte weglekt, hebben juist een opvallend *hoge* / *lage* temperatuur. Ramen hebben een *hogere* / *lagere* temperatuur dan muren en ramen met dubbel glas een *hogere* / *lagere* temperatuur dan ramen met enkel glas.

11 Mevrouw Dekker wil haar huis laten isoleren.
In de *Consumentengids* ziet ze het diagram van figuur 42. Ze bestudeert de gegevens en kiest dan voor isolatiemateriaal van 7 cm dik. Ze laat 62 m² muuroppervlak isoleren.
Bereken hoeveel m³ aardgas mevrouw Dekker jaarlijks bespaart.



▲ figuur 42

12 In figuur 43 zie je het energie-stroomdiagram van een paneel zonnecellen. Het paneel heeft een rendement van 15%.
Welk soort energie:
a stelt pijl A voor?
b stelt pijl B voor?
c stelt pijl C voor?



▲ figuur 43

13 Welke meetinstrumenten heb je nodig om het opgenomen vermogen van een dompelaar te bepalen? Kies uit: *maatcilinder – spanningsmeter – stopwatch – stroommeter – thermometer – weegschaal*.

14 In een gasbrander wordt 2,5 L aardgas verbrand. De verbrandingswarmte van aardgas is 32 MJ/m³.
Bereken hoeveel kJ warmte er vrijkomt bij de verbranding van 2,5 L aardgas.

15 Aynur verwarmt 200 mL water met een dompelaar. De dompelaar geeft 18 kJ warmte af in 5 min. Hiervan wordt 15 kJ opgenomen door het water.
Bereken het rendement van de dompelaar.

16 Twee lampen geven evenveel licht. Lamp A heeft een elektrisch vermogen van 12 W en een rendement van 20%. Lamp B heeft een elektrisch vermogen van X W en een rendement van 25%.
Bereken of beredeneer hoe groot X is.

17 Jorieke verwarmt 200 g water van 15 °C gedurende 10 min met een verwarmingselement van 70 W.
Bereken de eindtemperatuur van het water.

18 De *U*-waarde van een wand geeft aan hoe goed die wand is geïsoleerd. De *U*-waarde van enkel glas is 5,7 W/(m²·K). Bij dubbel glas is dat 3,5 W/(m²·K).

- **a** Leg uit waarom de *U*-waarde die eenheid heeft.
- **b** Maak een schatting van het glasoppervlak van het lokaal waar je zit. Ga uit van dubbel glas. Bereken hoeveel warmte er door de ramen verloren gaat als het buiten −2 °C is.

19 In de Mojave Woestijn in de Verenigde Staten staan verschillende centrales die elektriciteit opwekken met zonlicht. In figuur 44 zie je een deel van zo'n centrale. De spiegels weerkaatsen zonlicht naar buizen die met olie zijn gevuld. De hete olie wordt gebruikt om water te verhitten tot stoom.

- **a** Welke energie-omzetting moet deze centrale zo efficiënt mogelijk uitvoeren?
- **b** Waarom zou deze centrale in de woestijn gebouwd zijn?
- **c** Geef een nadeel van het bouwen van een centrale in de woestijn.



▲ figuur 44

20 Hiske bepaalt thuis het rendement van de brander van een gasstel bij het aan de kook brengen van water. Hiervoor neemt ze 1,2 L water van 15 °C. Ze leest aan het begin en het einde van de proef de gasmeter af. De beginstand is 02345,620 m³ en de eindstand 02345,651 m³.
Bereken het rendement van de brander.

21 In *de Volkskrant* stond een bericht over een experimentele elektriciteitscentrale die werkt op afvalhout (figuur 45).

- **a** Bereken hoeveel kWh elektrische energie deze centrale in een dag kan leveren.
- **b** Een gemiddeld Nederlands huishouden (van 2,2 personen) gebruikt per jaar 3500 kWh. Bereken hoeveel huishoudens de centrale van elektriciteit kan voorzien.
- **c** De verbrandingswarmte van hout is 16 MJ/kg. Bereken het rendement van de centrale.

> Op het paneel branden 408 lampen van 60 watt, ten teken dat de generator op volle toeren draait, aangedreven door een zwaar ronkende gasmotor. Die wordt op zijn beurt gevoed door een energierijk gas afkomstig uit afvalhout.
> Per uur verbruikt de vergasser 80 kilogram briketten, die zijn geperst van houtkrullen en zaagsel. De briketten worden vergast bij 1200 graden op een vast rooster onder in de reactor. De onderzoekers houden secuur bij hoeveel stroom daarbij wordt opgewekt.
> *Bron: de Volkskrant*

▲ figuur 45



SPORT EN VOEDING

Wielrenners noemen het de hongerklop, of ze zeggen dat ze 'de man met de hamer' zijn tegengekomen. Een slachtoffer vertelt: "Het ene moment ga je als een speer, het volgende moment kom je niet meer vooruit. Je benen willen niet meer, het klamme zweet staat op je voorhoofd en in je maag rommelt het. Je weet dat je snel iets moet eten, maar bij de gedachte alleen word je al misselijk. De tank is leeg, helemaal leeg ..."

Duursporters zoals wielrenners en marathonlopers, leren om de voorraad energie in hun lichaam zorgvuldig te managen. Zo kunnen ze de gevreesde hongerklop vermijden: een acuut gebrek aan energie dat de sporter van het ene op het andere moment overvalt. Maar hoe ontstaat zo'n energiecrisis eigenlijk?

Brandstof voor je lichaam

Mensen kunnen energie uit drie soorten voedingsstoffen halen: koolhydraten, vetten en eiwitten. Het lichaam benut de chemische energie in deze stoffen door ze te verbranden. Bij volledige verbranding levert:

- 1 gram koolhydraten 16,8 kJ (4,02 kcal);
- 1 gram vet 37,8 kJ (9,04 kcal);
- 1 gram eiwit 16,8 kJ (4,02 kcal).

Als je rustig op een stoel zit, staat de verbranding in je lichaam op een laag pitje. Het lichaam heeft dan geen voorkeur voor één soort brandstof. Maar als je intensief gaat sporten, vliegt het brandstofverbruik omhoog. Het lichaam verbrandt dan vooral koolhydraten, omdat het deze brandstof efficiënter kan benutten dan eiwitten of vetten.

Mensen kunnen een reservevoorraad koolhydraten aanleggen door glycogeen (zie kader) op te slaan in de lever en de spieren. De opslagcapaciteit is beperkt tot 600 gram glycogeen. Dat is niet veel: het is ongeveer genoeg voor anderhalf uur intensief sporten.

Tijdig bijtanken

Onder professionele atleten en wielrenners komt de hongerklop

Glucose en glycogeen

De verteerbare koolhydraten in het voedsel (er zijn ook onverteerbare) worden in de darmen afgebroken tot glucose. Het bloed neemt de glucose op en vervoert die naar alle delen van het lichaam. Glucose is zelf ook een koolhydraat en de energiebron bij uitstek voor de spieren.

Het lichaam probeert de glucoseconcentratie in het bloed constant te houden. Als er een overschot aan glucose is, wordt dat omgezet in glycogeen en opgeslagen in de lever en de spieren. Zo vormt het lichaam een reservevoorraad snel bruikbare energie.

Als je spieren hard moeten werken, nemen ze veel glucose op. De glucoseconcentratie in het bloed begint dan te dalen. Je lichaam reageert daar meteen op: de lever en de spieren zetten hun glycogeen weer om in glucose en geven die af aan het bloed. Zo wordt de glucoseconcentratie in het bloed op peil gehouden.

Als je lang doorgaat met sporten zonder te eten, raakt de voorraad glycogeen uitgeput. De glucoseconcentratie in het bloed daalt dan plotseling. De symptomen daarvan (vermoeidheid, duizeligheid, misselijkheid) staan bekend als de hongerklop.



weinig meer voor. Ze hebben geleerd om hun glycogeenreserve op tijd aan te vullen, door goed te eten en te drinken. Daar zijn ze de hele dag mee bezig, ook als ze aan het sporten zijn.

Een paar cijfers over energiegebruik per dag:
- zittend werk: 10 MJ (2,4 Mcal);
- Tour de France rijden: 29 MJ (7,0 Mcal);
- bergetappe rijden: 38 MJ (9,0 Mcal).

Deze cijfers zijn niet meer dan gemiddelden: de ene renner is de andere niet. Maar dat er flink moet worden gegeten, is wel duidelijk. Op het dagmenu staan veel graanproducten (pasta, brood en rijst) en zoete dingen, omdat die tjokvol koolhydraten zitten.

Dit is wat een wielrenner op een doorsnee Tourdag eet:

Bij het ontbijt wordt de 'tank' met glycogeen tot de rand gevuld. Maar een etappe van 175 km kun je niet alleen op je glycogeenreserve rijden, laat staan dat je er dan nog een eindsprint uit kunt persen. De plastic tasjes met voedsel die onderweg worden uitgedeeld, zijn onmisbaar om te kunnen presteren.

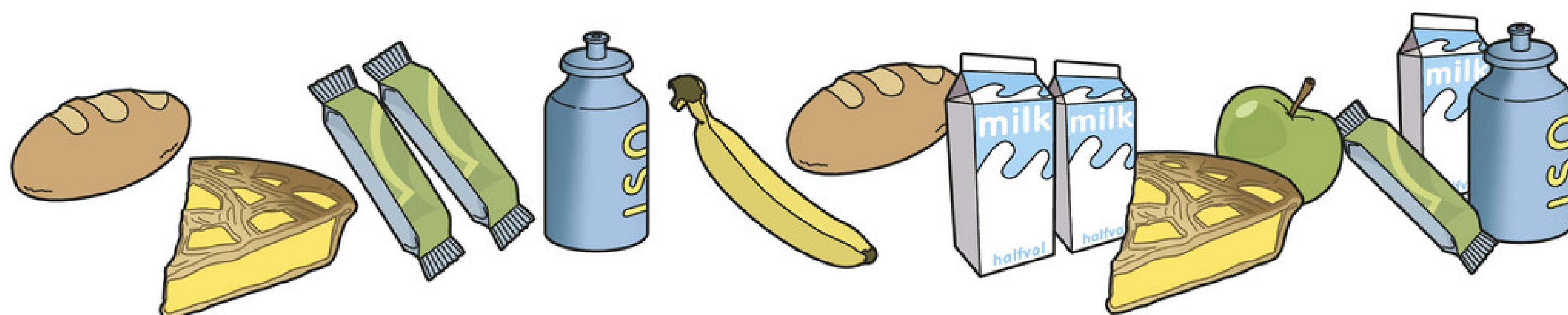
> Tijdens zware bergetappes loopt de energiebehoefte op tot wel 38 MJ (9000 kcal) per dag.

Slim zijn met energie

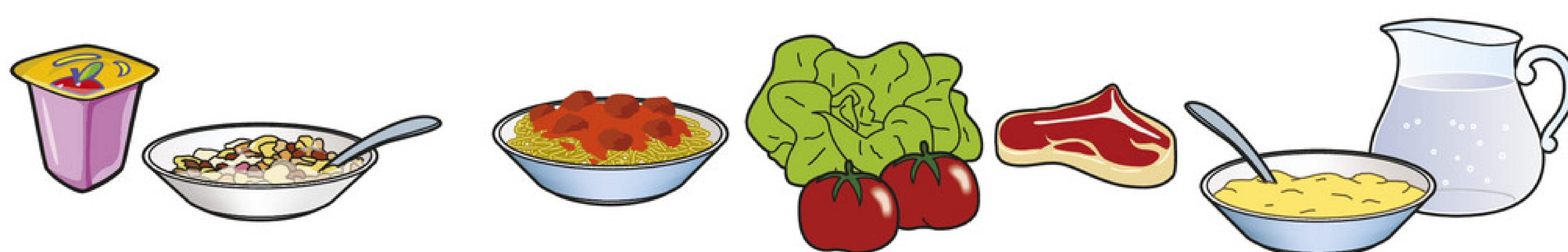
Je kunt de combinatie mens-fiets bekijken als een machine, met de wielrenner als motor. Het vermogen van een wielrenner kan tijdens een etappe enorm variëren: van circa 150 W in een rustige fase tot wel 450 W bergop. Een echte sprinter kan in de slotfase zelfs meer dan 1000 W aan vermogen ontwikkelen, maar dat houdt hij maar enkele seconden vol. Een goede sprinter spaart zijn energievoorraad door rustig in het peloton mee te rijden. Vlak voor de finish rijdt hij in een 'treintje' met zijn ploeggenoten naar voren, blijft nog even achter de kopman hangen en sprint dan weg. Als zijn timing goed is, heeft hij net genoeg 'macht' in de benen om het tot de eindstreep vol te houden – een kwestie van goed energiebeheer, zoals bijna alles wat met wielrennen te maken heeft.



Het ontbijt: een liter vruchtensap, eieren, witte rijst, ham, kaas, muesli, honing, brood met boter, marmelade en yoghurt. Totaal 6,3 MJ.



Onderweg eet de renner twee keer: volkorenbroodjes, gebak, energierepen en fruit. Hij drinkt per uur een halve liter water of isotone drank om de zouten aan te vullen die het lichaam door transpiratie verliest. Af en toe neemt hij vloeibare glucose. Totaal 12,2 MJ.



Na de race eet de renner een bord muesli met yoghurt. Het diner bestaat uit een bord pasta, salade, vlees, aardappelpuree en water. Totaal 10,5 MJ.



Opgaven

Voedingswaarde Valeur nutritive	per 100 g par 100 g	per stuk par pièce
Energie kJ/kcal	1320/310	165/39
Eiwitten/Protéines	10,0 g	1,3 g
Koolhydraten/Glucides	64,6 g	8,1 g
suikers/sucres	1,4 g	0,2 g
Vetten/Lipides	1,5 g	0,2 g
verzadigd/saturés	0,4 g	0,1 g
enkelv.onverzadigd/ mono-insaturés	0,2 g	<0,1 g
meerv. onverzadigd/ poly-insaturés	0,5 g	0,1 g
Voedingsvezels/Fibres aliment.	15,5 g	2,0 g
Natrium/Sodium	0,4 g	50 mg

Inhoud: roggeknäckebröd, ca. 20 stuks.
Ingrediënten: volkoren roggemeel, gist, zout.

1 Hier zie je een stukje van de verpakking van WASA knäckebröd.
- **a** Past knäckebröd goed in de voeding van een duursporter? Leg uit.
- **b** Bereken met behulp van de gegevens op de verpakking de energiewaarde van 100 g knäckebröd.
- **c** Vergelijk je antwoord met de energiewaarde die op het etiket staat vermeld. Wat valt je op?

2 In het artikel vind je gegevens over het energiegebruik tijdens een etappe van de Tour de France en tijdens rust.
- **a** Bereken hoeveel energie de renner krijgt door zijn dagelijkse voeding.
- **b** Hoeveel daarvan is beschikbaar voor het leveren van de extra arbeid van het fietsen?

3 Bij verbranding van 1 g glycogeen komt 15,4 kJ energie vrij.
Hoeveel procent van de dagelijkse energiebehoefte van de renner kan de glycogeenvoorraad bij een gewone etappe (0,6 kg) leveren?

4 Een wielrenner die in zijn eentje aan het peloton ontsnapt, wordt tijdens een vlakke etappe bijna altijd weer door het peloton ingehaald.
- **a** Waarom is het dan zo moeilijk om uit de handen van het peloton te blijven? Gebruik het begrip ‘vermogen’ in je uitleg.
- **b** Hoe komt het dat ontsnappingen tijdens een bergetappe veel vaker succes hebben?

5 Bij een experiment in een sportcentrum fietst een profwielrenner exact een uur lang op een fietsergometer. Uit metingen blijkt dat hij in dat uur 1425 kcal aan chemische energie verbruikt. Zijn nuttige vermogen is over het hele uur gerekend gemiddeld 385 W.
Bereken met deze gegevens het rendement van de wielrenner.





5

Kracht en beweging

De wetten van Newton

In de zeventiende eeuw maakte de natuurkunde een enorme stap vooruit toen Newton zijn beroemde wetten formuleerde. Die wetten beschrijven alle bewegingen: het vallen van een appel, de lancering van een raket, de sprong van een skater, het botsen van moleculen of de draaiing van de aarde om de zon. Ook het verkeer op een autoweg houdt zich aan de wetten van Newton.

1 Beweging in diagrammen

Een vliegtuig gaat veel sneller dan een karretje in de achtbaan. Toch voelt een rit in een achtbaan veel spannender dan een vlucht met een vliegtuig. Dat komt doordat de karretjes enorm snel optrekken en afremmen. Het is blijkbaar niet de snelheid die je voelt, maar de snelheidsverandering.

Een beweging in diagrammen

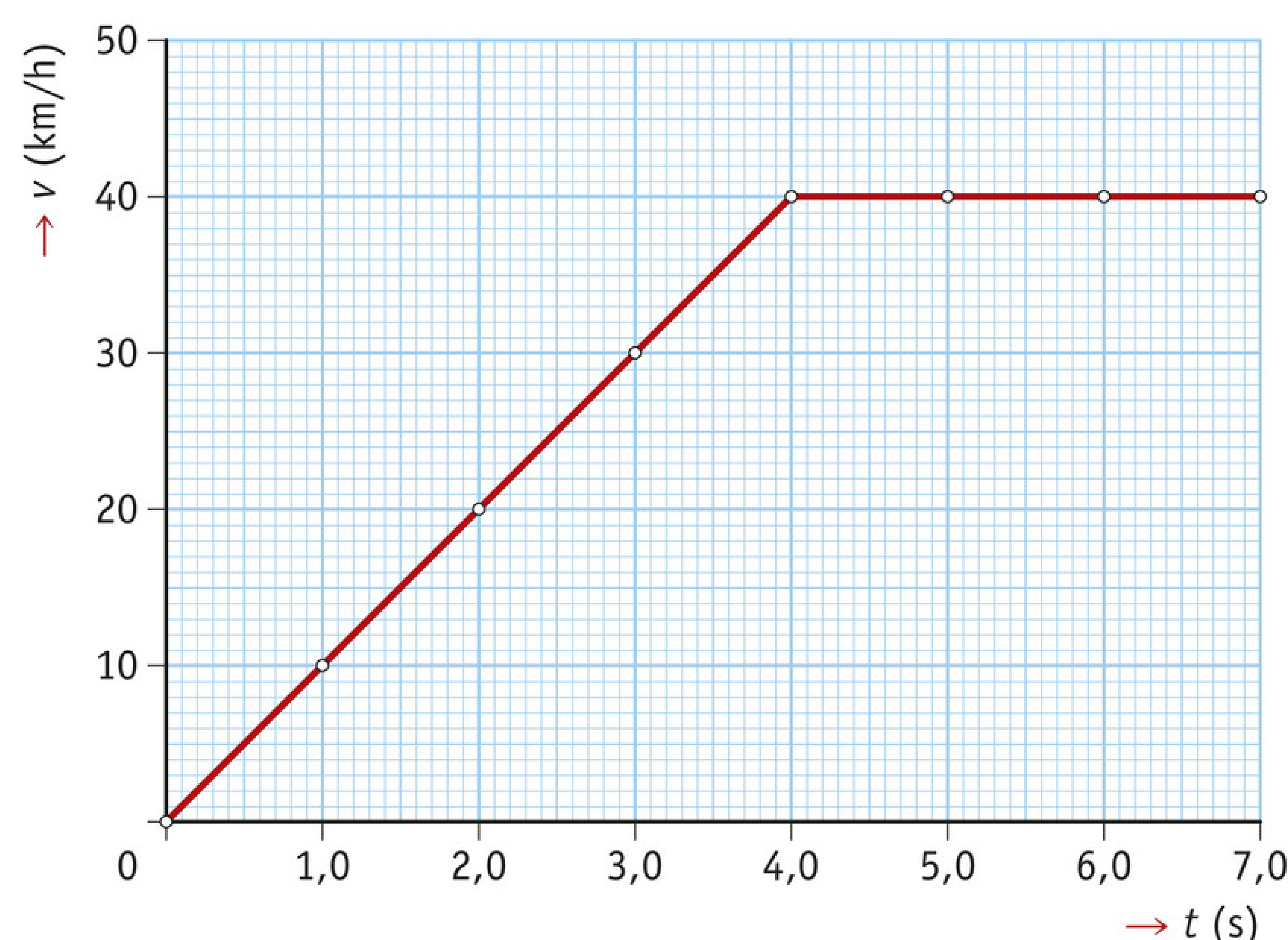
Een auto staat stil. De bestuurder trekt langzaam op tot hij een snelheid van 40 km/h heeft bereikt. Daarna rijdt hij met een constante snelheid verder. Die beweging is vastgelegd in het **(snelheid,tijd)-diagram** of **(*v*,*t*)-diagram** van figuur 1:

- Van t = 0 s tot t = 4,0 s is de beweging **eenparig versneld**: de snelheid neemt gelijkmatig toe met de tijd.
- Na t = 4,0 s is de snelheid constant. Hier is de beweging **eenparig**.

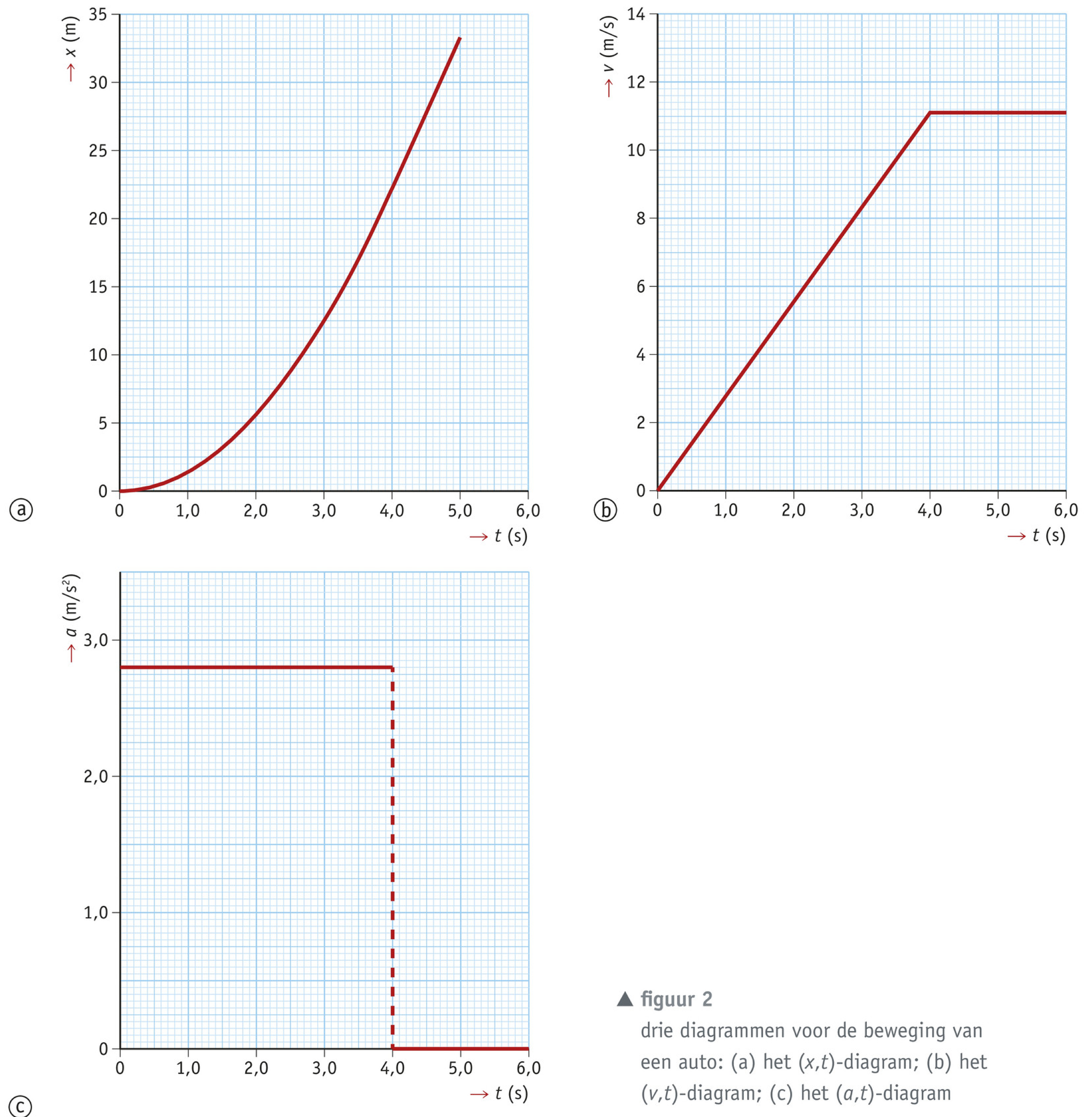
In figuur 2b zie je hetzelfde (*v*,*t*)-diagram, maar nu met de snelheid in m/s. Je kunt een snelheid in km/h omrekenen naar de snelheid in m/s door te delen door 3,6. Een snelheid van 40 km/h is dan gelijk aan 40 : 3,6 = 11,1 m/s.

Je kunt de beweging ook vastleggen in een **(plaats,tijd)-diagram** of **(*x*,*t*)-diagram**. Het (*x*,*t*)-diagram van de auto is getekend in figuur 2a. Zolang de auto versnelt, is de grafiek een parabool. Als de snelheid constant is, is de grafiek een schuine rechte lijn.

Let erop dat je een (*v*,*t*)-diagram niet verwart met een (*x*,*t*)-diagram. Aan de grootheden (*x* of *v*) en eenheden (m of m/s) langs de y-as kun je zien om welk diagram het gaat.



▶ **figuur 1**
het (*v*,*t*)-diagram van de beweging van de auto



▲ **figuur 2**
drie diagrammen voor de beweging van een auto: (a) het (x,t)-diagram; (b) het (v,t)-diagram; (c) het (a,t)-diagram

De versnelling Proef 1

De auto versnelt in 4,0 s van stilstand naar 11,1 m/s. Elke seconde neemt de snelheid dus met 11,1 : 4,0 = 2,8 m/s toe. De snelheidsverandering per seconde noem je de **versnelling** *a* (van acceleratie en dat komt van het Latijnse *celer* = 'snel'). De versnelling is hier dus 2,8 m/s per seconde. Dat schrijf je als 2,8 m/s^2 en je zegt: "2,8 meter per seconde kwadraat". Voor figuur 2 geldt dus: a = 2,8 m/s^2.
In figuur 2c zie je het (a,t)-diagram van de auto: eerst is de versnelling 2,8 m/s^2, daarna 0.

De versnelling berekenen

Bij een eenparig versnelde beweging neemt de snelheid gelijkmatig toe van de beginsnelheid v_b (die kan 0 zijn maar dat hoeft niet) tot de eindsnelheid v_e. De snelheidsverandering Δv bereken je door de beginsnelheid van de eindsnelheid af te trekken:

$$\Delta v = v_e - v_b$$

Om de versnelling te berekenen, deel je de snelheidsverandering Δv door de benodigde tijd Δt. In formulevorm:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Voorbeeldopgave 1

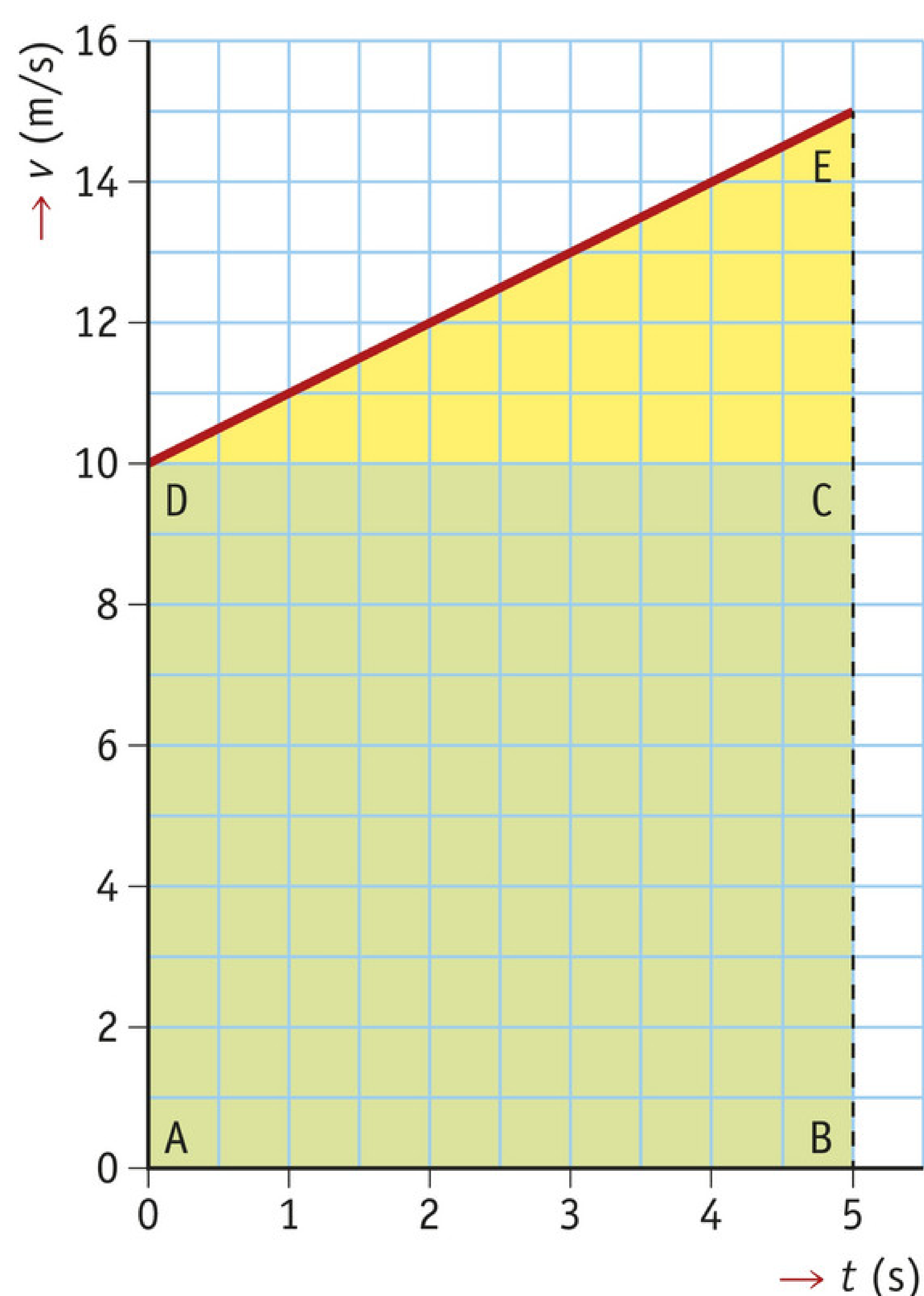
Een automobiliste wil een vrachtwagen inhalen en geeft vol gas. De auto versnelt eenparig gedurende 4,0 s. Hierdoor neemt de snelheid toe van 60 km/h tot 100 km/h.
Bereken de versnelling.

gegevens v_b = 60 km/h = 16,7 m/s
v_e = 100 km/h = 27,8 m/s
t = 4,0 s

gevraagd a = ?

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 27{,}8 - 16{,}7 = 11{,}1$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{11{,}1}{4{,}0} = 2{,}8 \text{ m/s}^2$$



▲ **figuur 3**
het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging

Afgelegde afstand bepalen

Voor elk bewegend voorwerp kun je de afgelegde afstand bepalen met het (v,t)-diagram. Je berekent dan het oppervlak onder de grafiek in een (v,t)-diagram. Dat oppervlak is gelijk aan de afgelegde afstand.

Voorbeeldopgave 2

In figuur 3 zie je het (v,t)-diagram van een skiër die in 5,0 s eenparig versnelt van 36 km/h naar 54 km/h.
Bepaal de afstand die de skiër heeft afgelegd.

gegevens v_b = 36 km/h = 10 m/s
v_e = 54 km/h = 15 m/s
t = 5,0 s

gevraagd $s = ?$

uitwerking De afgelegde afstand s is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t)-diagram van figuur 3:
s = oppervlakte rechthoek ABCD + oppervlakte driehoek DCE
= (5 × 10) + (½ × 5 × (15 − 10)) = 62,5 m

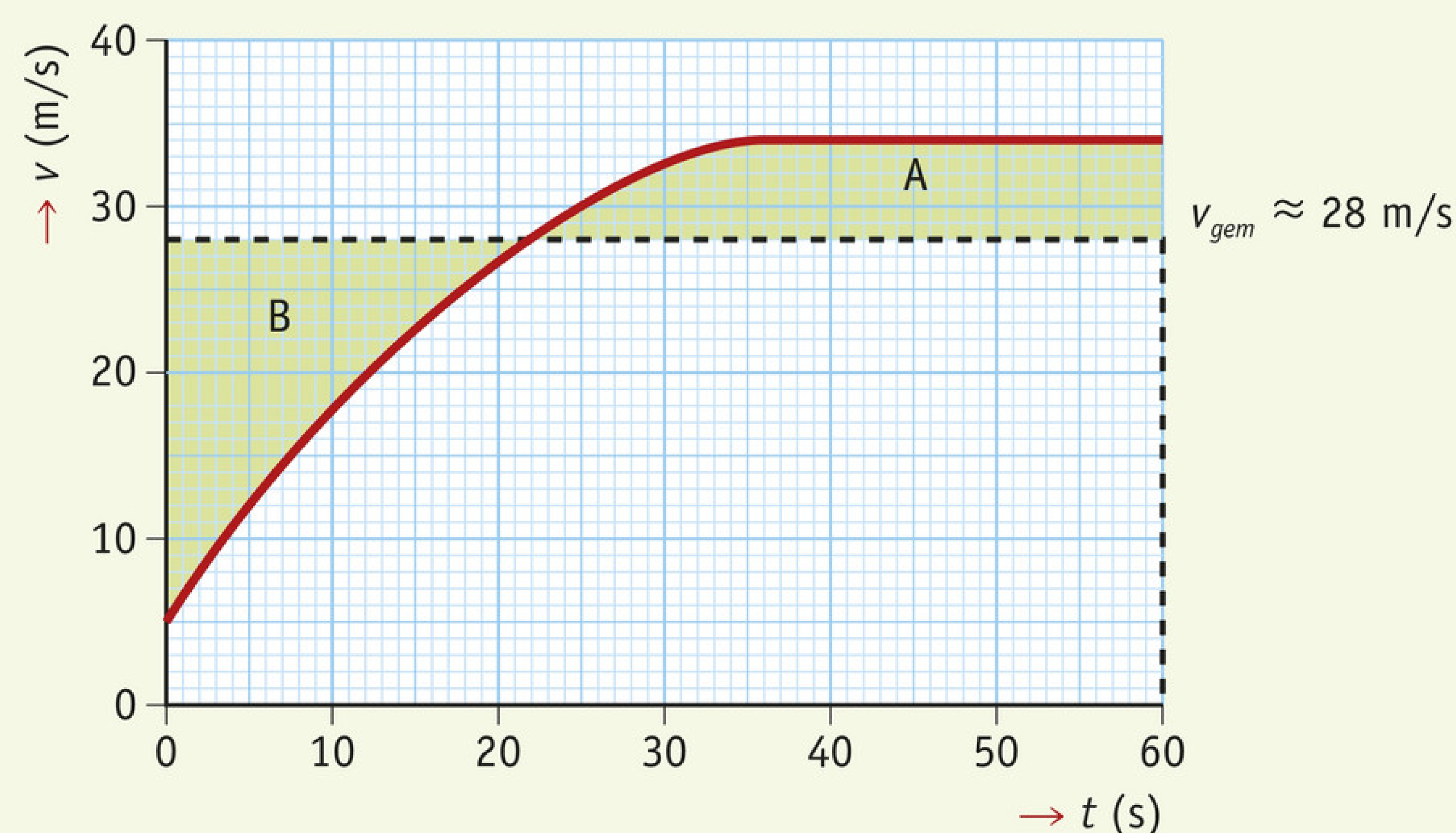
De skiër legt dus een afstand af van 62,5 m.

Plus Niet-eenparige versnelling

Een beweging zoals in figuur 1 op bladzijde 186 zul je in het dagelijks leven nooit aantreffen. Een auto zal bij het optrekken niet voortdurend dezelfde versnelling hebben. Ook zal de beweging niet abrupt overgaan van een versnelde naar een eenparige beweging.

In figuur 4 zie je een realistischer (v,t)-diagram van een auto. Als de snelheid stijgt, loopt de grafiek steeds minder steil. De snelheid neemt dus steeds minder toe en de versnelling van de auto wordt dus kleiner. Het oppervlak onder de grafiek bestaat dan niet meer uit vormen waarvan je de oppervlakte eenvoudig kunt bepalen, zoals rechthoeken en driehoeken. Het is dan lastig om de afgelegde afstand nauwkeurig met het (v,t)-diagram te bepalen. Een snelle manier om een schatting te maken van de afgelegde afstand zie je in figuur 4. Je trekt een horizontale lijn zodanig dat de oppervlakte A (ongeveer) even groot is als de oppervlakte B. Daarmee bepaal je eigenlijk de gemiddelde snelheid gedurende die periode. Met de volgende formule kun je dan de afgelegde afstand s uitrekenen:

$$s = v_{gem} \cdot t$$



▶ **figuur 4**
een realistischer (v,t)-diagram

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe noem je een beweging waarbij:
- de snelheid gelijkmatig groter wordt?
- de snelheid de hele tijd even groot blijft?

b Met welke formule kun je de versnelling van een bewegend voorwerp berekenen?

c Wat wordt bedoeld met de uitspraak: "de versnelling van het voorwerp is 3,0 m/s²"?

d Hoe kun je de afgelegde afstand bepalen uit het (*v*,*t*)-diagram van een beweging?

2 Neem tabel 1 over en vul hem verder in.

▼ **tabel 1** enkele grootheden en eenheden

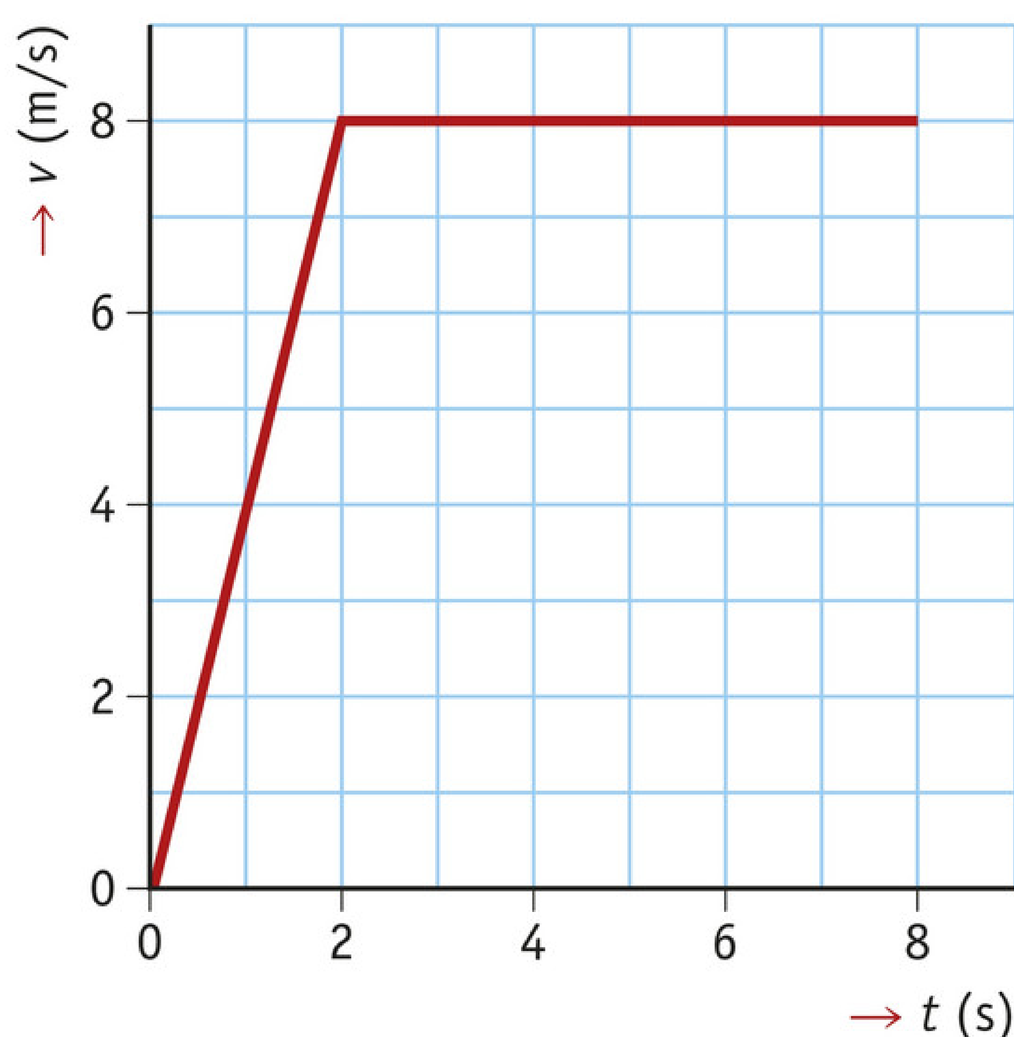
grootheid	symbool	eenheid	symbool
afstand			m
		seconde	
			m/s
	a		

3 Bewegingen kun je vastleggen in een (*v*,*t*)-diagram.

a Een schaatser rijdt in 40 s een rondje op de ijsbaan met een constante snelheid van 36 km/h.
Teken het (*v*,*t*)-diagram voor drie rondjes. Gebruik de eenheid m/s.

b Een skispringer daalt na het startschot eenparig versneld een skischans af. Na 12 s verlaat hij de schans met een snelheid van 90 km/h.
Teken het (*v*,*t*)-diagram tijdens de afdaling en kort daarna.

c Schets in het diagram van b hoe de snelheid verandert na $t = 12$.



▲ **figuur 5**
het (*v*,*t*)-diagram van Wietske

4 In figuur 5 zie je het (*v*,*t*)-diagram van Wietske op haar scooter.

a Bereken de versnelling gedurende de eerste 2,0 s.

b Bepaal de afgelegde afstand in de eerste 8,0 s.

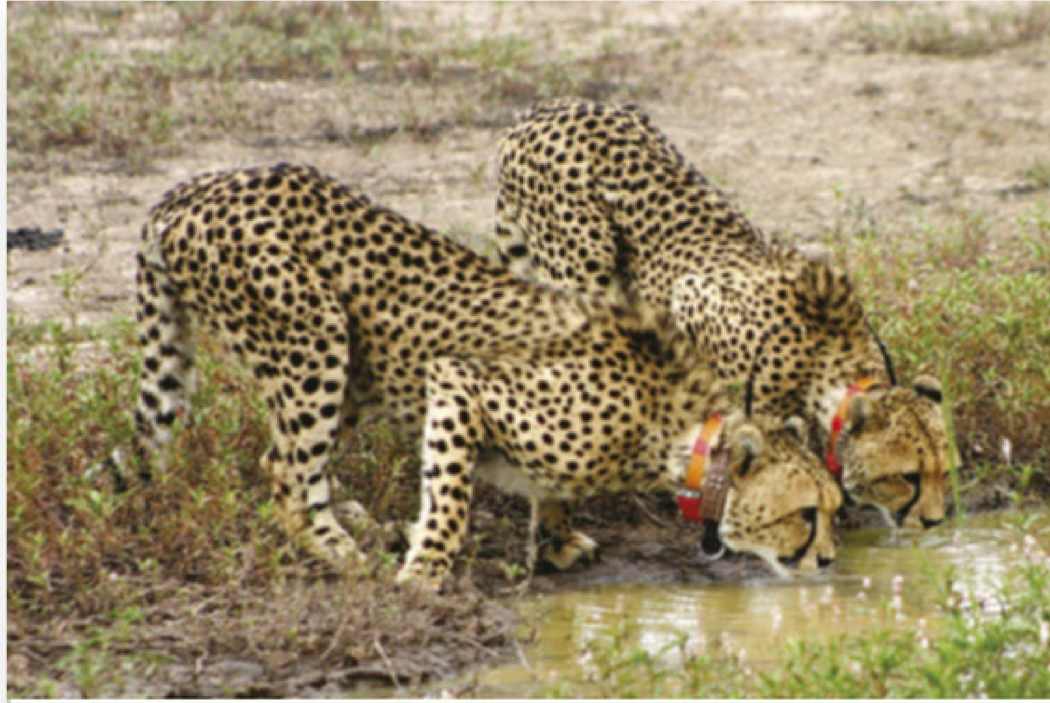
5 Een auto rijdt met een snelheid van 63 km/h. De automobilist geeft meer gas, waardoor zijn snelheid in 5,0 s eenparig toeneemt tot 90 km/h.

a Bereken de versnelling van de auto in m/s².

b Bepaal de afstand die de auto tijdens de beweging aflegt. Schets daarvoor eerst het (*v*,*t*)-diagram.

c Bereken de eindsnelheid als de versnelling niet 5,0 maar 6,0 s duurt. Geef je antwoord in km/h.

***6** Voorbeeldopgave 2 (bladzijde 188) kun je ook maken door te werken met de gemiddelde snelheid tijdens het versnellen. Je maakt dan gebruik van de volgende formule voor de afgelegde weg *s*: $s = v_{gem} \cdot t$.
Laat zien dat deze aanpak hetzelfde antwoord oplevert.



Versnelling, niet snelheid, maakt jachtluipaard topjager

Het jachtluipaard behaalt zelden de topsnelheid (27 m/s) waar hij voor bekendstaat. Maar het dier heeft een enorme versnelling en is extreem wendbaar. Britse wetenschappers maten de snelheid van wilde cheeta's en vonden een gemiddelde topsnelheid van 'amper' 14,9 m/s. Ter vergelijking: een topsprinter haalt 12 m/s.

De dieren hebben echter een ander groot voordeel in de jacht: hun spieren kunnen zeer snel samentrekken. In één stap kunnen de dieren 3 m/s versnellen of 4 m/s vertragen. Vertragen doen ze altijd vlak voor ze van richting veranderen: zo kunnen ze een veel scherpere bocht nemen.

▲ **figuur 6**
wilde jachtluipaarden met een halsband die hun versnelling meet

7 Lees het krantenartikel in figuur 6.

a Bereken de topsnelheid van het jachtluipaard in km/h.

b Leg uit hoeveel stappen het jachtluipaard minimaal nodig heeft om zijn topsnelheid te bereiken.

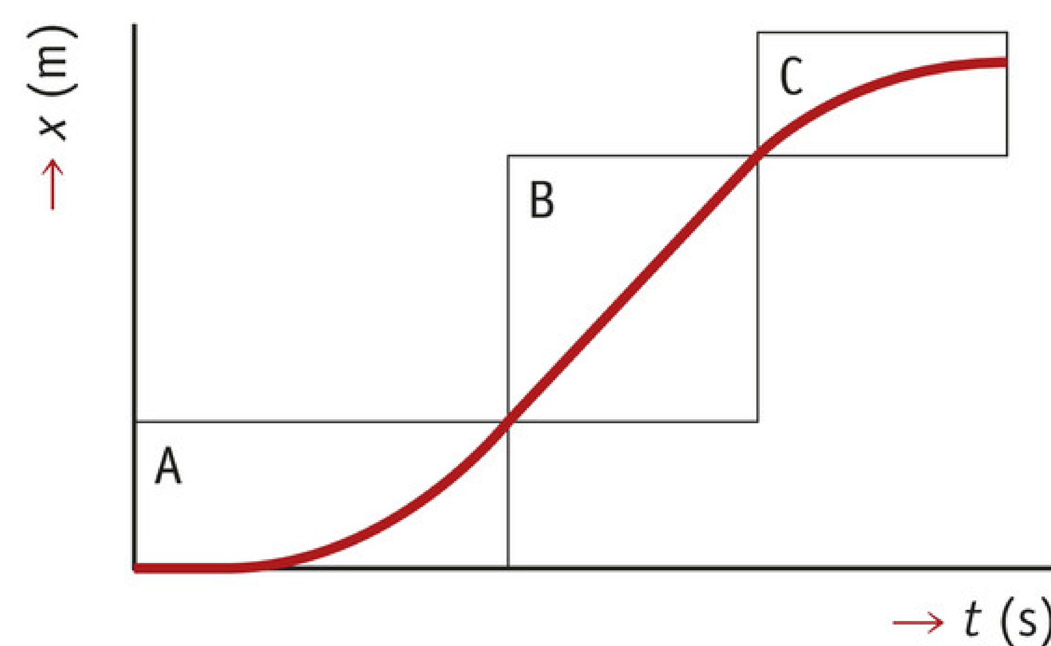
c Metingen hebben aangetoond dat een stap van een jachtluipaard 0,45 s duurt.
Bereken de versnelling van het jachtluipaard.

8 In figuur 7 zie je het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter in een hardloopwedstrijd. Op tijdstip $t = 0$ klinkt het startschot.

a Leg uit waarom de grafiek na $t = 0$ eerst even horizontaal loopt.

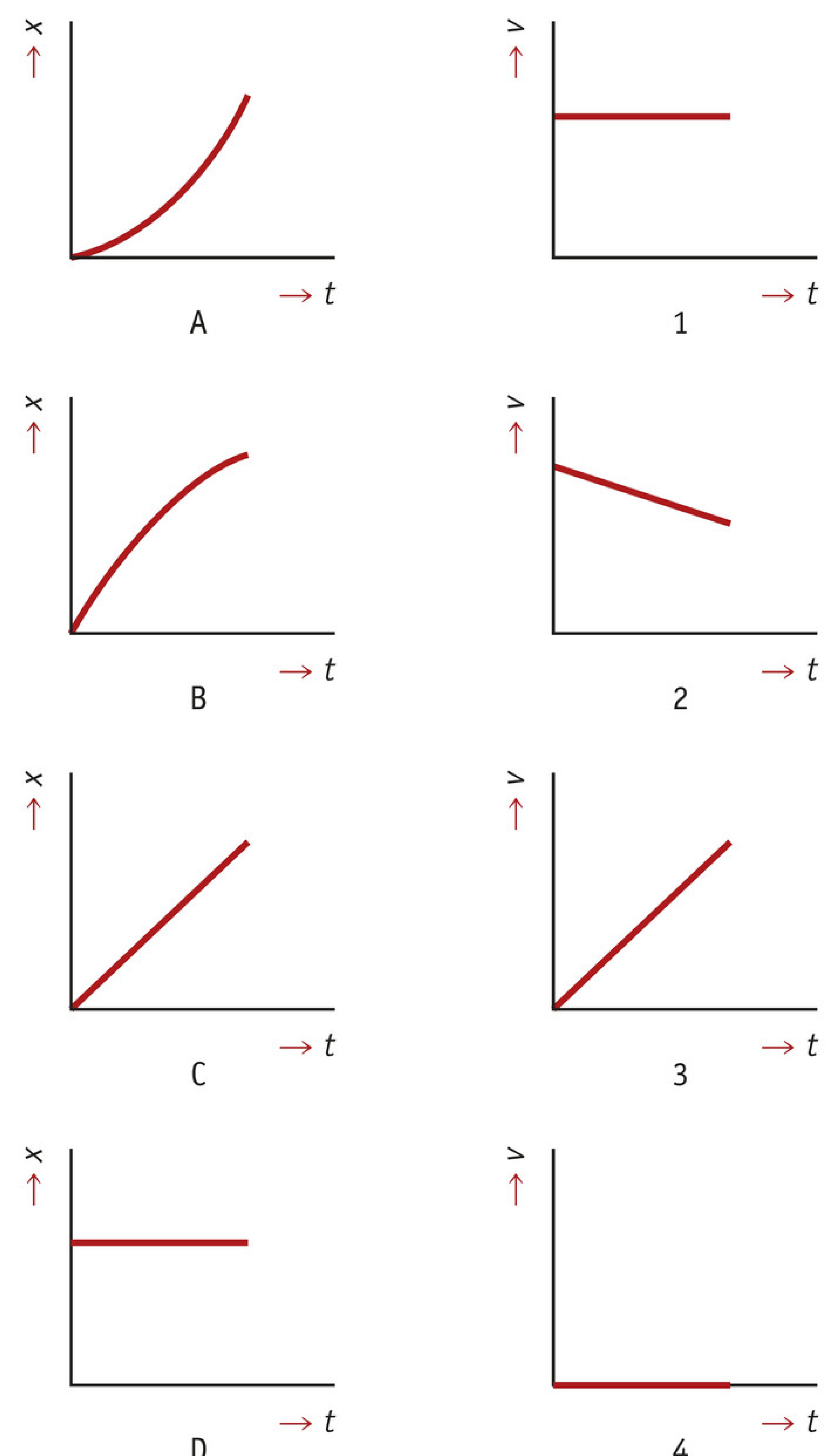
b Leg uit of de gemiddelde snelheid in deel B groter of kleiner is dan de gemiddelde snelheid in deel C, of precies even groot.

c Als de sprinter in beweging komt, heeft hij de eerste 2,0 s een constante versnelling van 4,0 m/s^2.
Bereken zijn snelheid na die 2,0 s.



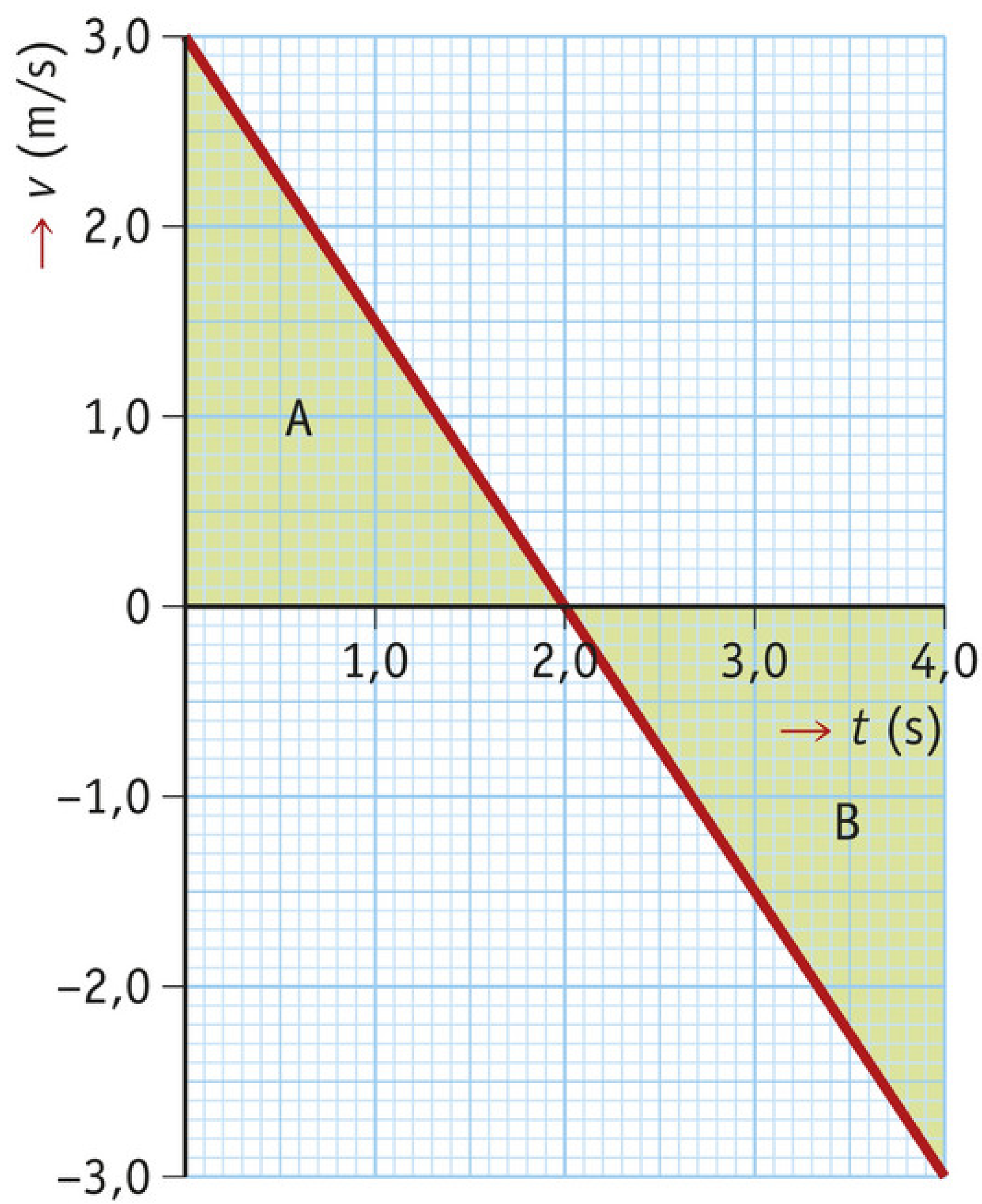
◀ **figuur 7**
het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter

9 Uit een (*x*,*t*)-diagram kun je het (*v*,*t*)-diagram afleiden en andersom. In figuur 8 staan links vier (*x*,*t*)-diagrammen en rechts vier (*v*,*t*)-diagrammen.
Welke diagrammen horen bij elkaar?



▶ **figuur 8**
Welke diagrammen horen bij elkaar?

***10** De drie diagrammen van figuur 2 op bladzijde 187 kun je ook tekenen voor een auto die eenparig vertraagt tot hij stilstaat.
Schets deze diagrammen. Je hoeft geen getallen bij de assen te zetten.



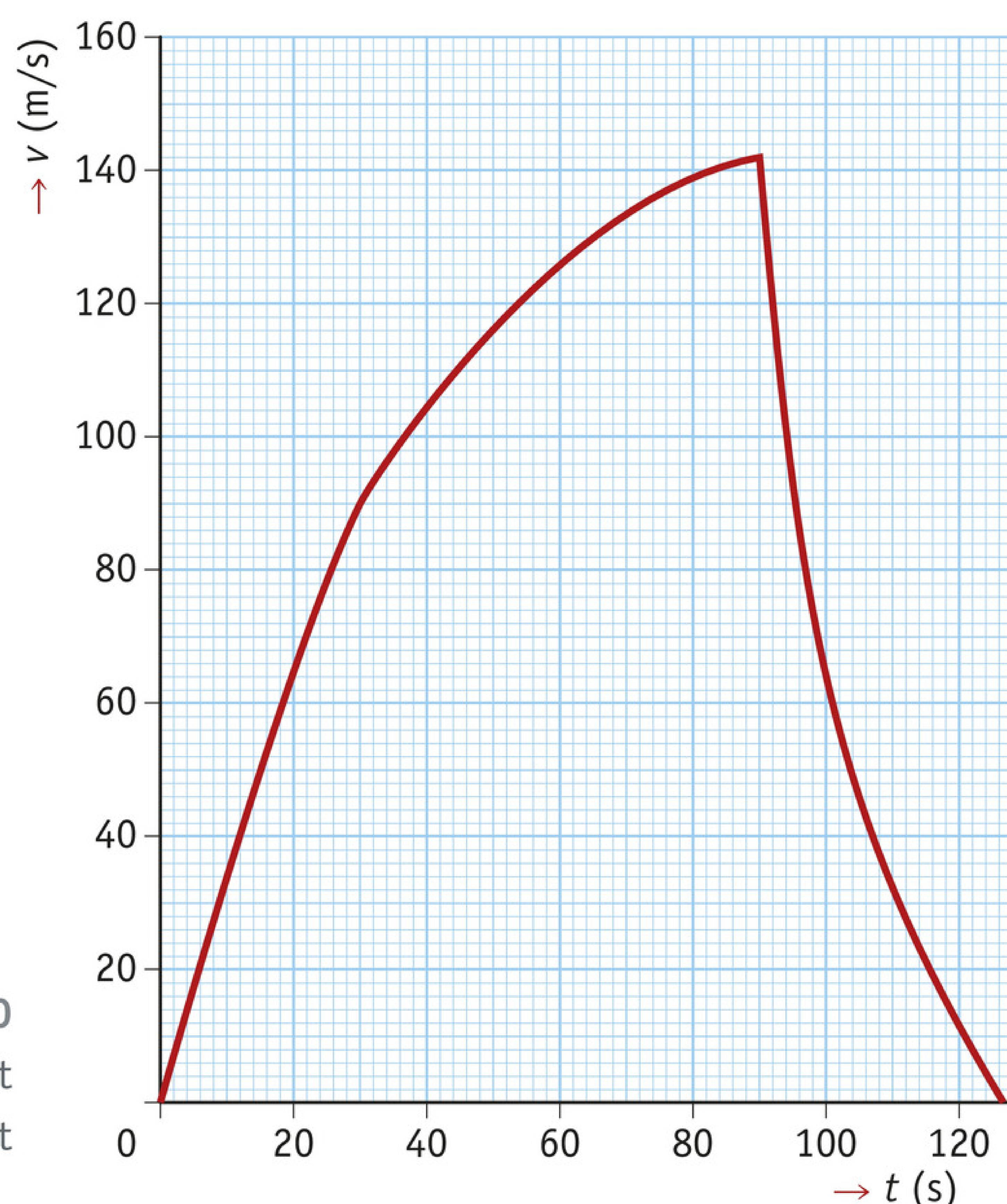
▲ **figuur 9**
het (*v*,*t*)-diagram van een bal op de maan

***11** Een astronaut op de maan gooit een bal recht omhoog en vangt hem daarna weer op. In figuur 9 zie je het (*v*,*t*)-diagram van de beweging van de bal.
a Wat is de betekenis van het negatief zijn van de snelheid?
b Bepaal uit het diagram de maximale hoogte die de bal heeft bereikt.
c Wat kun je zeggen over de grootte van de oppervlakken A en B in het diagram? Leg uit waarom dat zo moet zijn.

Plus Niet-eenparige versnelling

12 De grafiek in figuur 4 (bladzijde 189) is ‘realistischer’ dan die in figuur 1 (bladzijde 186).
Leg uit waarom dat zo is.

13 Enige jaren geleden vestigde een team van Amerikaanse studenten het snelheidsrecord voor elektrische auto’s. Hun Buckeye Bullet haalde 500 km/h op een zoutvlakte in de staat Utah. De auto was heel laag en extreem goed gestroomlijnd. In figuur 10 staat het (*v*,*t*)-diagram van de recordrit.
a Je kunt de beweging verdelen in drie periodes.
Wat voor beweging voerde de auto in elk van die drie periodes uit?
b Hoe kun je verklaren waarom in het eerste deel de versnelling bijna constant is?
c Bepaal zo goed mogelijk de gemiddelde snelheid in de eerste 90 s.
d Bepaal hoeveel km de auto aflegde in die eerste 90 s.
e Op welk tijdstip was de versnelling (niet de vertraging) het grootst?



▶ **figuur 10**
het (*v*,*t*)-diagram van de recordrit van de Buckeye Bullet

2 Voortstuwen en tegenwerken

Fietsen kost meer inspanning bij tegenwind, of als je over een mul zandpad rijdt. De krachten die je beweging tegenwerken, zijn dan groter dan anders. De optelsom van jouw trapkracht en de tegenwerkende krachten bepaalt welke beweging je uitvoert.

Voortstuwende en tegenwerkende krachten

Als je fietst, leveren je spieren de voortstuwende kracht die nodig is om vooruit te komen. Als je stopt met trappen, neemt je snelheid meteen af. Dat komt door de tegenwerkende wrijvingskrachten. De twee belangrijkste daarvan zijn de luchtwrijving of **luchtweerstand** en de rolwrijving.

De **luchtwrijving** ontstaat doordat je de lucht vóór je opzij moet duwen. De grootte van de luchtwrijving hangt van vier factoren af:

1 De snelheid v. Als je snel rijdt, moet je per seconde meer lucht opzij duwen en is de luchtwrijving groter.
2 De dichtheid ρ van de lucht. Als de dichtheid van de lucht toeneemt, is de massa van de opzij te duwen lucht groter en is dus ook de luchtwrijving groter.
3 Het frontale oppervlak (A). Het **frontale oppervlak** is het oppervlak dat je van voren ziet. Als je voorovergebogen op je fiets gaat zitten, wordt dat oppervlak kleiner en hoef je minder lucht opzij te duwen (figuur 11). De luchtwrijving wordt dan kleiner.
4 De kwaliteit van de stroomlijn. De kwaliteit van de stroomlijn wordt aangegeven met een getal: de **C_w-waarde**. Hoe beter de stroomlijn, hoe kleiner de C_w-waarde. Een bol heeft bijvoorbeeld een veel kleinere C_w-waarde dan een even grote kubus.



▲ **figuur 11**
een wielrenner met een klein frontaal oppervlak en een goede stroomlijn

Deze vier factoren komen samen in de formule voor de luchtwrijving:

$$F_{w,l} = \tfrac{1}{2} \cdot C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Daarin vul je A in in m^2, ρ in g/L of kg/m^3 en v in m/s. De C_w-waarde is een getal zonder eenheid.
Je ziet dat de luchtwrijving 9× zo groot wordt als de snelheid 3× zo groot wordt.

Voorbeeldopgave 3
Tijdens een tenniswedstrijd bereikt een tennisbal een snelheid van 150 km/h. De C_w-waarde van de bal is 0,47.
Maak een schatting van de luchtwrijving op zo'n bal op dat moment.
Neem voor de dichtheid van lucht 1,3 kg/m³.

gegevens
v = 150 km/h = 41,7 m/s
C_w = 0,47
schatting van de straal van de bal: 3,5 cm
ρ = 1,3 g/L = 1,3 kg/m³

gevraagd
$F_{w,l}$ = ?

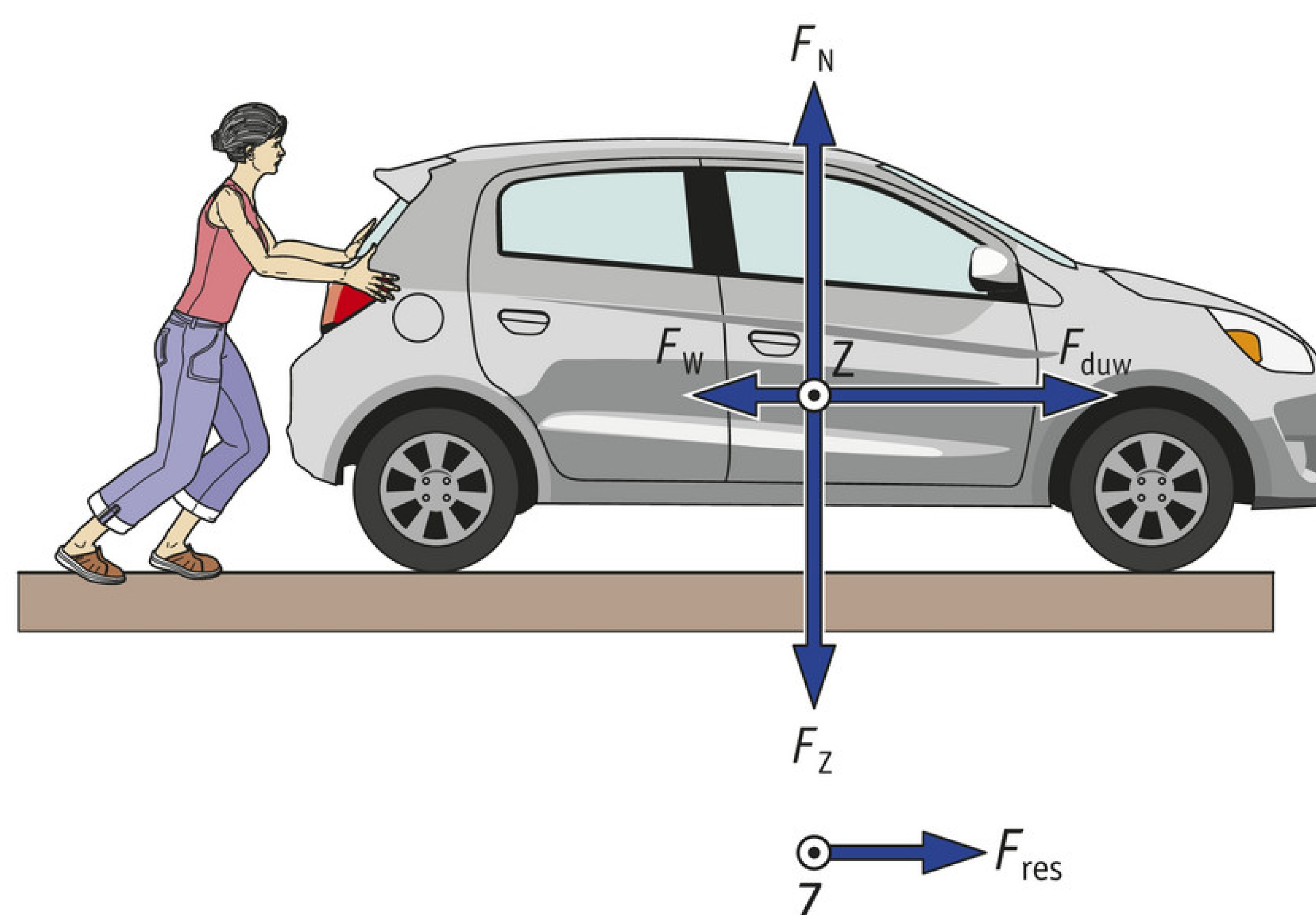
uitwerking
$A = \pi \cdot r^2$ (het frontaal oppervlak is een cirkel)
$= \pi \cdot 0{,}035^2 = 0{,}0038 \text{ m}^2$
$F_{w,l} = ½ \cdot C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$
$= 0{,}5 \times 0{,}47 \times 0{,}0038 \times 1{,}3 \times 41{,}7^2 = 2{,}0 \text{ N}$

De luchtwrijving bedraagt dus ongeveer 2,0 N.

Rolwrijving ontstaat doordat de banden en de ondergrond vervormen tijdens het fietsen. Hoe groter die vervorming is, des te groter is de rolwrijving. Dit merk je bijvoorbeeld als je door mul zand rijdt. Bij een gladde ondergrond kun je de rolwrijving verminderen door je banden heel hard op te pompen.

De resultante

In figuur 12 zie je een auto die wordt geduwd. Op de auto werken vier krachten: de zwaartekracht F_z, de normaalkracht F_N, de lucht- en rolwrijving F_w en de duwkracht F_{duw}. De eerste drie krachten kom je bij elk rollend, glijdend of rijdend voorwerp tegen. De duwkracht kan ook een kracht zijn die een motor levert, of bijvoorbeeld een windkracht. Meer algemeen noem je deze kracht de voortstuwingskracht F_{voort}.



▶ **figuur 12**
vier krachten en hun resultante

De vier krachten grijpen aan op verschillende plaatsen, maar ze zijn in deze figuur allemaal getekend vanuit het zwaartepunt Z. Zo kun je gemakkelijker de **resultante** F_{res} bepalen.
In figuur 12 zijn de zwaartekracht en de normaalkracht even groot en tegengesteld gericht. Ze heffen elkaar dus op. De duwkracht en de wrijvingskrachten werken ook in tegengestelde richtingen, maar de duwkracht kan kleiner of groter zijn dan de wrijvingskracht of even groot.

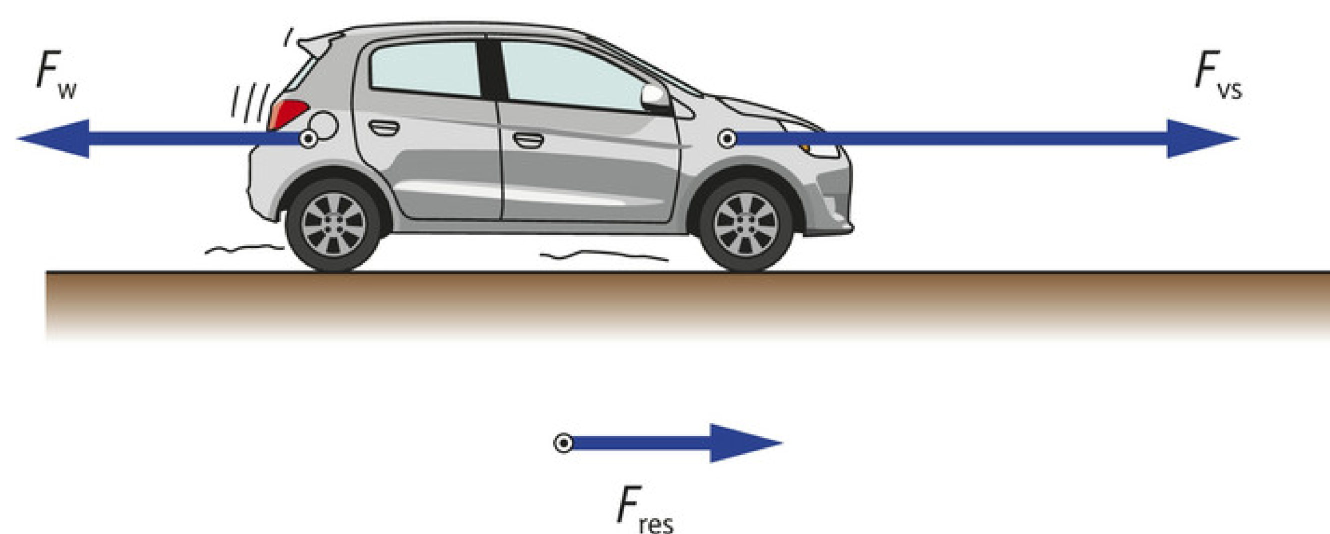
De resultante en de grootte van de snelheid

Als je zachtjes tegen een auto duwt, komt die niet in beweging. Dat komt doordat de tegenwerkende krachten (de wrijvingskrachten) precies even groot zijn als jouw duwkracht. De resultante blijft daardoor 0 N.
Als je steeds harder gaat duwen, worden de tegenwerkende krachten ook steeds groter. Op een gegeven moment zijn de tegenwerkende krachten maximaal en wordt de resultante groter dan 0 N. De auto begint dan te bewegen in de richting van de resultante (figuur 13).

- Als de voortstuwende kracht op een voorwerp groter is dan alle tegenwerkende krachten samen, beweegt het voorwerp versneld.

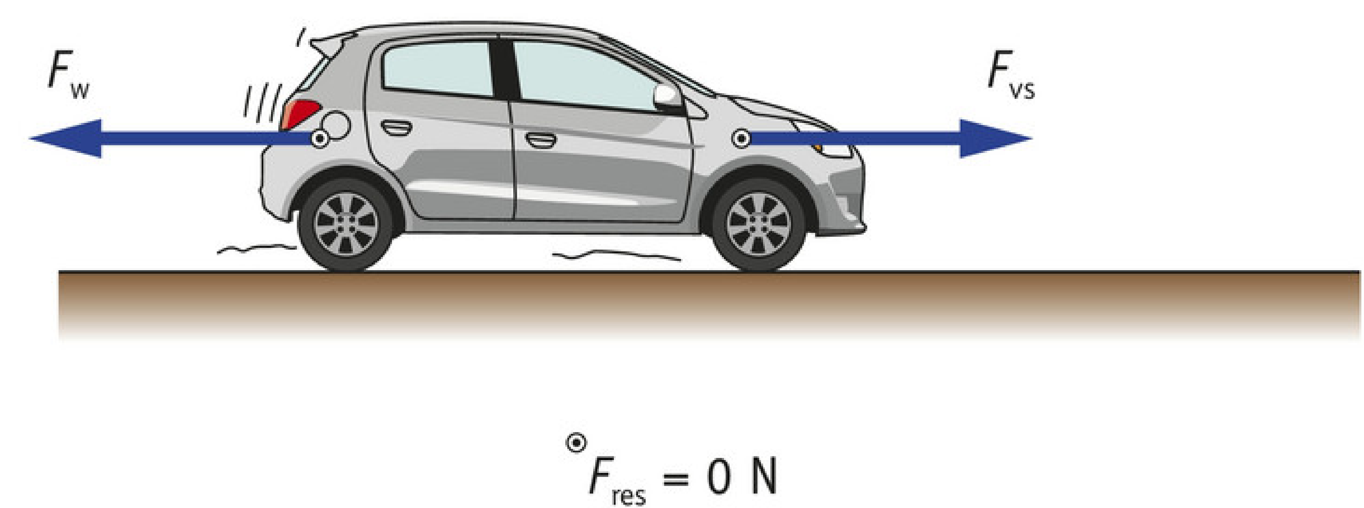
Als de auto de gewenste snelheid heeft, ga je wat minder hard duwen. De voortstuwende kracht en de tegenwerkende krachten worden dan weer even groot. De resultante is opnieuw 0 N en de auto beweegt met constante snelheid verder (figuur 14).

- Als de voortstuwende kracht op het voorwerp even groot is als alle tegenwerkende krachten samen, verandert de snelheid niet.



De auto versnelt: de resultante werkt in dezelfde richting als de bewegingsrichting.

▲ **figuur 13**
$F_{res} > 0$: de auto versnelt.

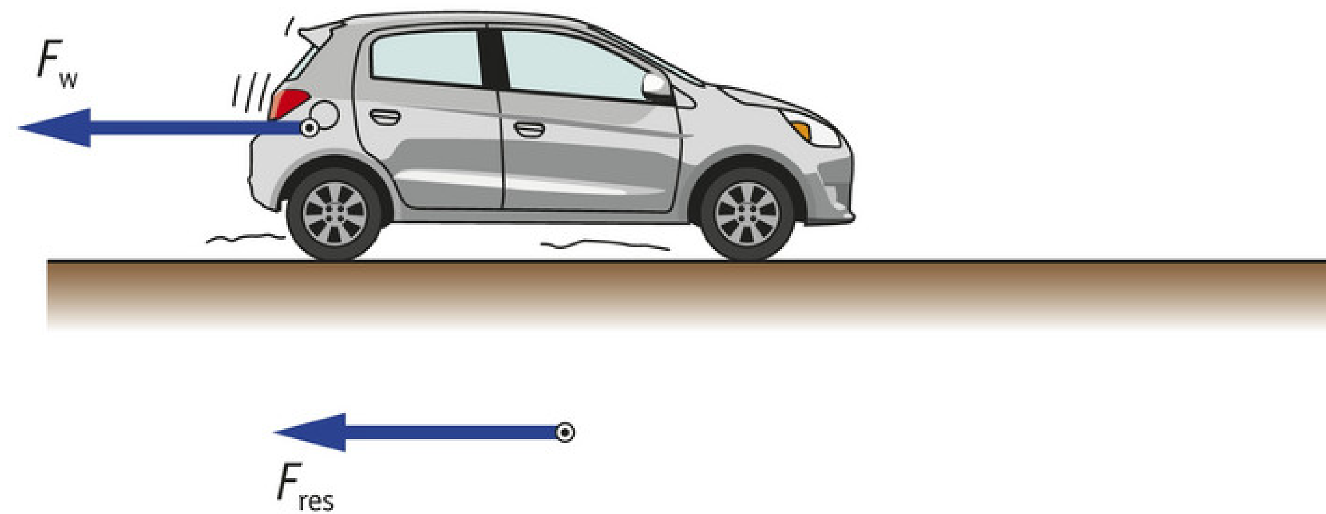


De auto rijdt met een constante snelheid: de resultante is 0 N.

▲ **figuur 14**
$F_{res} = 0$: de auto beweegt eenparig.

Als je niet meer duwt, blijven alleen de tegenwerkende krachten over. De resultante werkt dan tegen de bewegingsrichting in (figuur 15). De auto vertraagt en komt ten slotte tot stilstand.

- Als de voortstuwende kracht op het voorwerp kleiner is dan alle tegenwerkende krachten samen, beweegt het voorwerp vertraagd.



De auto vertraagt: de resultante werkt tegen de bewegingsrichting in.

▶ **figuur 15**
$F_{res} < 0$: de auto vertraagt.

Met andere woorden: als de resultante op een voorwerp 0 N is en het voorwerp beweegt al, dan gaat het met dezelfde snelheid in een rechte baan verder. Staat het voorwerp stil, dan blijft het ook stilstaan. Andersom geldt ook: staat een voorwerp stil of beweegt het eenparig langs een rechte lijn, dan weet je dat de resultante op het voorwerp 0 N is.

Dit is de **Eerste wet van Newton**.

De resultante en de richting van de snelheid Proef 2

De resultante kan een versnelling (figuur 16a) of een vertraging (figuur 16b) veroorzaken. Maar de resultante kan een bewegend voorwerp ook van richting laten veranderen. Dat gebeurt bijvoorbeeld als er opeens een harde windstoot komt van opzij (figuur 16c). De snelheid blijft dan even groot en alleen de richting van de beweging verandert.

Dat laatste zie je ook bij een voorwerp dat met constante snelheid langs een cirkelbaan beweegt. Dan is er een middelpuntzoekende kracht nodig (zie hoofdstuk 1). Deze is altijd naar het middelpunt van de cirkel gericht.



▲ **figuur 16**
De raket beweegt versneld, het vliegtuig beweegt vertraagd en de auto verandert van richting.

Plus Derde wet van Newton

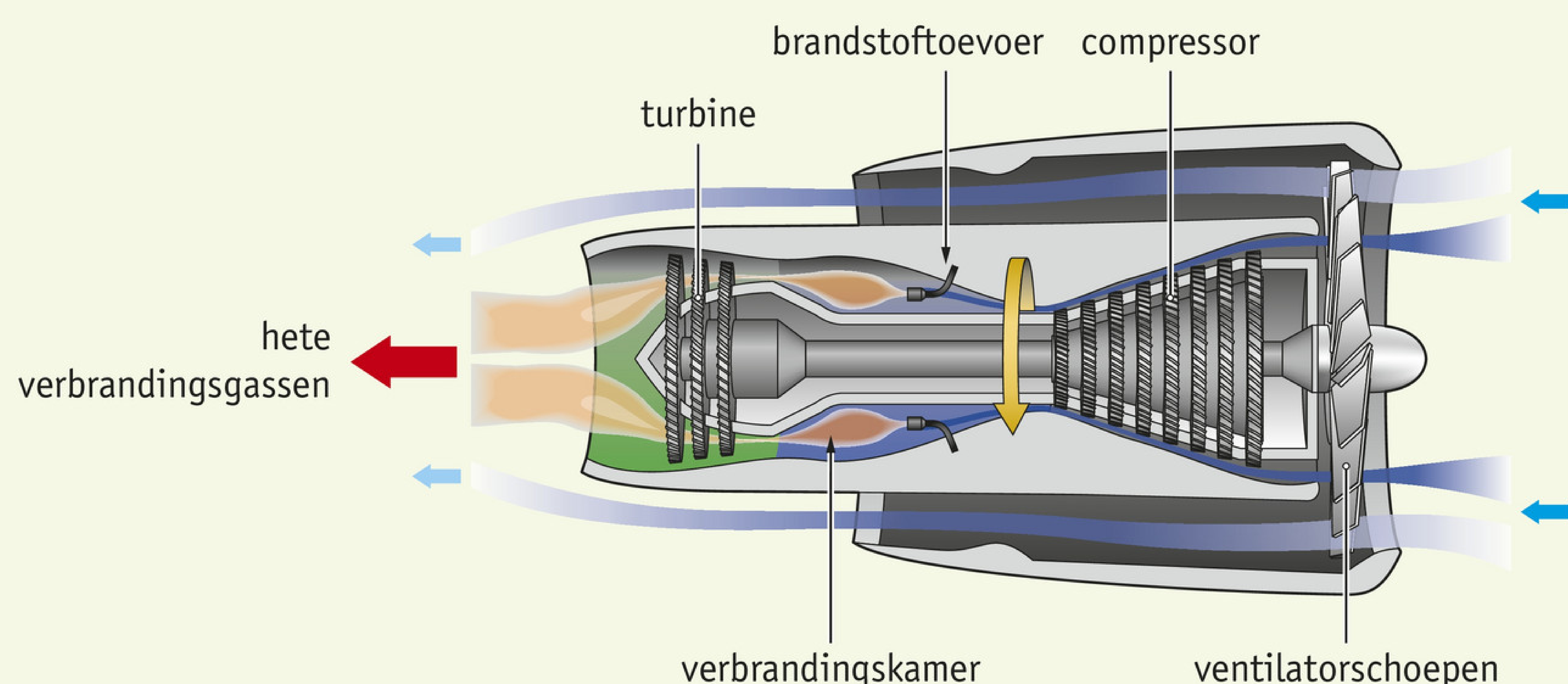
Bij auto's komt de voortstuwende kracht meestal van een verbrandingsmotor of van een elektrische motor. Maar wie een wereldsnelheidsrecord wil verbreken met zijn 'auto', bouwt er een ander soort motor in: een straalmotor.

Straalmotoren zijn ontwikkeld voor vliegtuigen en raketten. Het zijn ook verbrandingsmotoren, want er wordt brandstof in verbrand (figuur 17). Door die verbranding ontstaan hete verbrandingsgassen. Ze stromen met een enorme snelheid achter uit de straalmotor. De motor, en dus het vliegtuig of de raket, ondervindt dan een kracht naar voren.

De aandrijving met straalmotoren heeft te maken met de **Derde wet van Newton**. Deze wet wordt vaak als volgt geformuleerd:

actie = –reactie ('actie is min reactie')

In figuur 17 duwt de straalmotor de verbrandingsgassen als het ware de motor uit. De motor oefent dus een kracht naar links uit op de gasdeeltjes. Dat is de **actiekracht**. Volgens het principe 'actie = –reactie' oefenen de gasdeeltjes een even grote maar tegengesteld gerichte kracht (vandaar het minteken) uit op de straalmotor. Die kracht heet de **reactiekracht**. In het algemeen geldt: als A een kracht uitoefent op B, oefent B tegelijkertijd een even grote en tegengestelde kracht uit op A. Zo oefen jij nu een kracht naar beneden uit op je stoel. Dat is de actiekracht. De reactiekracht is dan de kracht omhoog van de stoel op jou. Beide krachten zijn even groot.



▲ **figuur 17**
de werking van een straalmotor

Een ander voorbeeld is de jetski (figuur 18). De motor van de jetski oefent een kracht uit op het water dat daardoor naar achteren spuit. Het water oefent daardoor een kracht uit op de jetski die naar voren gaat. Die twee krachten zijn even groot.



▶ **figuur 18**
een jetski

opgaven

14 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waardoor ontstaan de luchtwrijving en de rolwrijving op een rijdende auto?
- **b** Hoe kun je de luchtwrijving verminderen als je fietst?
- **c** Waarom pompt een wielrenster de banden van haar fiets zo hard mogelijk op?

15 Op welke manier beweegt een voorwerp:
- **a** als de resultante in de bewegingsrichting werkt?
- **b** als de resultante gelijk is aan 0 N?
- **c** als de resultante tegen de bewegingsrichting in werkt?
- **d** als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting staat?

16 Elk voorwerp heeft zijn eigen C_w-waarde zoals te zien is in tabel 2.
- **a** Verklaar het verschil in C_w-waarde tussen een toerfietser en een wielrenner.
- **b** Verklaar het verschil tussen een personenauto en een vrachtauto.
- **c** De ene personenauto kan een kleinere C_w-waarde hebben dan een andere en toch een grotere luchtwrijving ondervinden.
  Leg uit hoe dat kan.

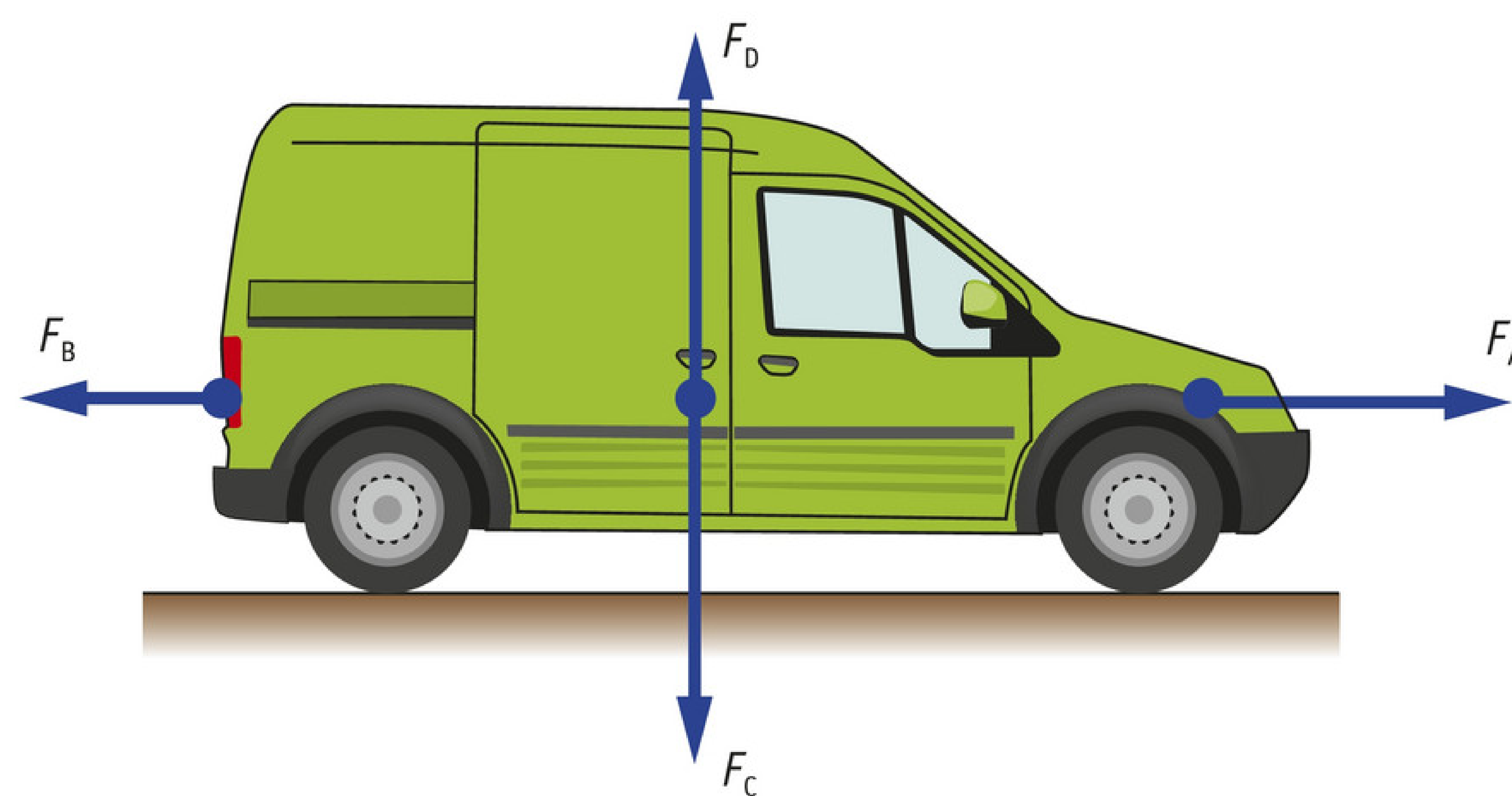
▼ **tabel 2** C_w-waarden

voorwerp	C_w-waarde
personenauto	0,3-0,5
skiër	0,9
toerfietser	0,9-1,1
vrachtauto	0,6-1,0
wielrenner/schaatser	0,7-0,9

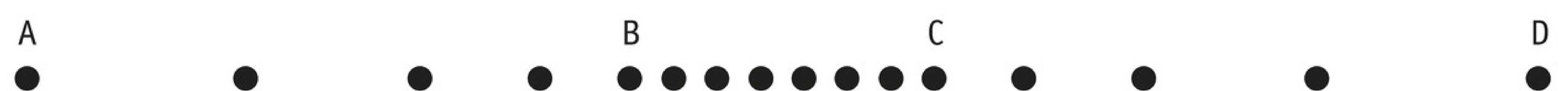
17 Je kunt een schatting maken van je luchtweerstand als je rechtop op ski's met een constante snelheid van 36 km/h naar beneden zoeft. Neem voor de dichtheid van de lucht in de bergen 0,9 g/L.
- **a** Maak een schatting van jouw frontale oppervlak in m^2 als je rechtop staat.
- **b** Bereken je snelheid in m/s.
- **c** Bereken de luchtweerstand die je ondervindt.

18 Een verhuizer duwt met een (horizontale) kracht van 600 N tegen een kist, maar de kist komt niet van zijn plaats.
- **a** Hoe groot is dan de wrijvingskracht?
- **b** Hoe groot is de wrijvingskracht als de verhuizer stopt met duwen?
- **c** Als de verhuizer met 900 N duwt, beweegt de kist met een constante snelheid over de vloer.
  Hoe groot is de wrijvingskracht dan? Licht je antwoord toe.

19 Op een rijdend busje werken vier krachten F_A, F_B, F_C en F_D (figuur 19).
- **a** Geef de namen van deze vier krachten.
- **b** De grootte van de krachten F_A en F_B kan veranderen.
  Wanneer is F_B gelijk aan 0 N?
- **c** Het busje lekt olie en verliest elke seconde één druppel. In figuur 20 zie je het oliespoor dat het busje achterlaat op de weg. Het busje bewoog van links naar rechts.
  Geef bij de volgende trajecten aan of $F_A > F_B$, $F_A = F_B$ of $F_A < F_B$.
  - tussen A en B
  - tussen B en C
  - tussen C en D
- **d** Bereken de snelheid van het busje tussen B en C.



▲ **figuur 19**
de krachten op een busje



schaal 1:1000

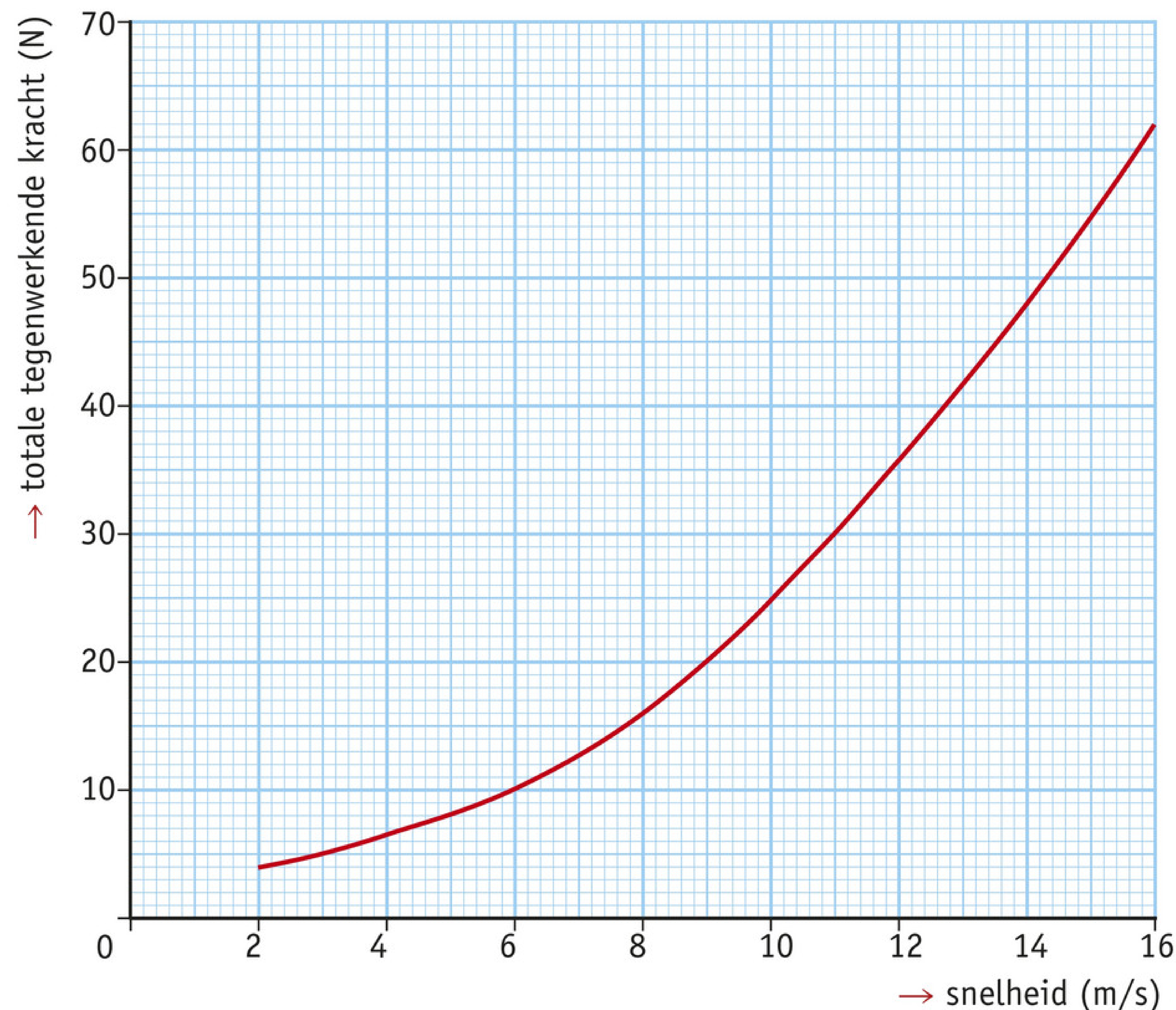
▲ **figuur 20**
een oliespoor

20 Carla traint regelmatig op haar racefiets. In figuur 21 is het verband getekend tussen de (totale) tegenwerkende kracht en haar snelheid.

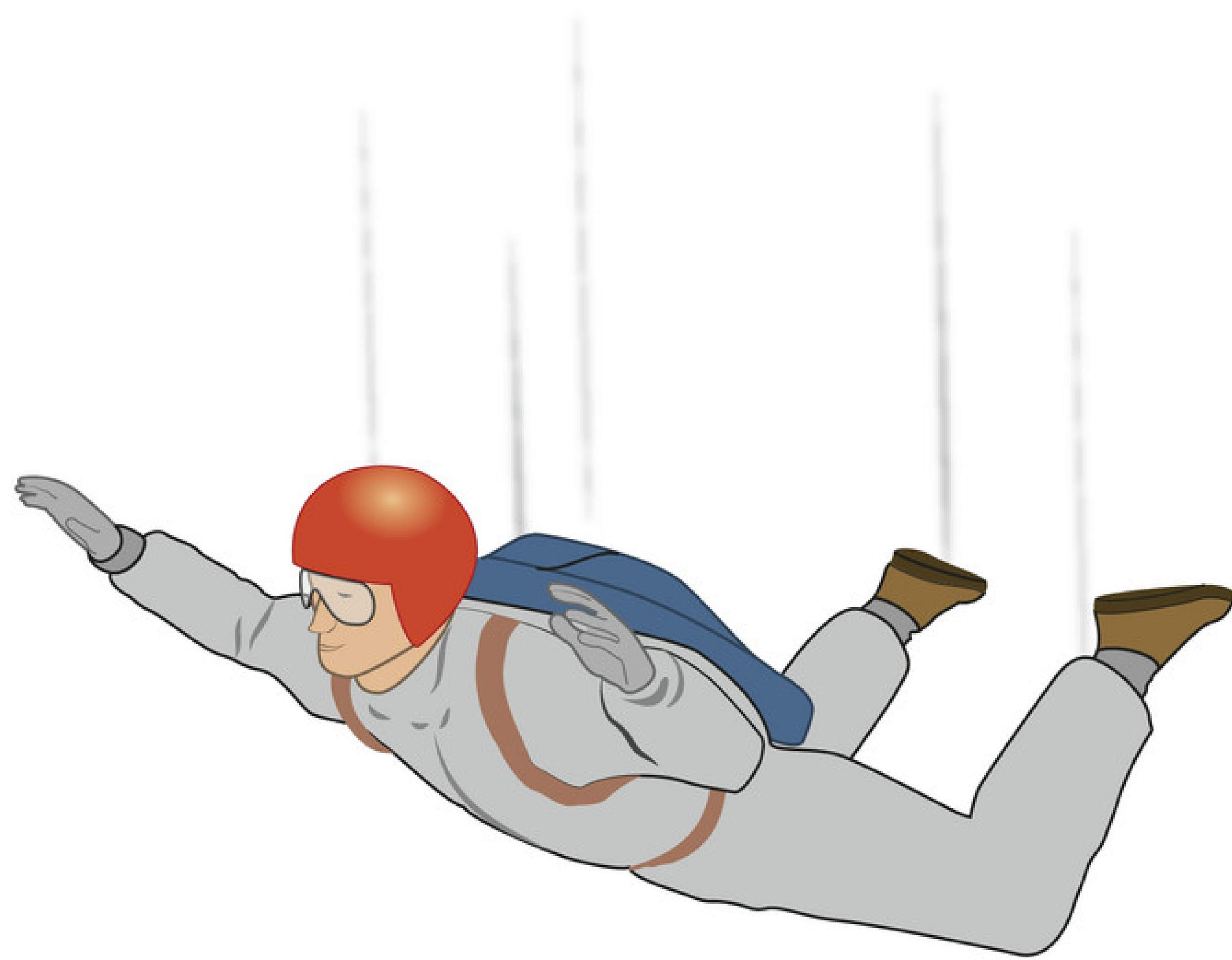
a Bepaal de grootte van de voortstuwende kracht als Carla rijdt met een constante snelheid van 11 m/s.

b Dan gaat Carla harder trappen. Op haar fiets werkt dan enige tijd een (constante) voortstuwende kracht van 40 N.
Hoe groot is de resultante op het moment dat ze begint te versnellen?

c Bepaal de snelheid die Carla uiteindelijk bereikt.



▶ **figuur 21**
het verband tussen de snelheid en de tegenwerkende kracht

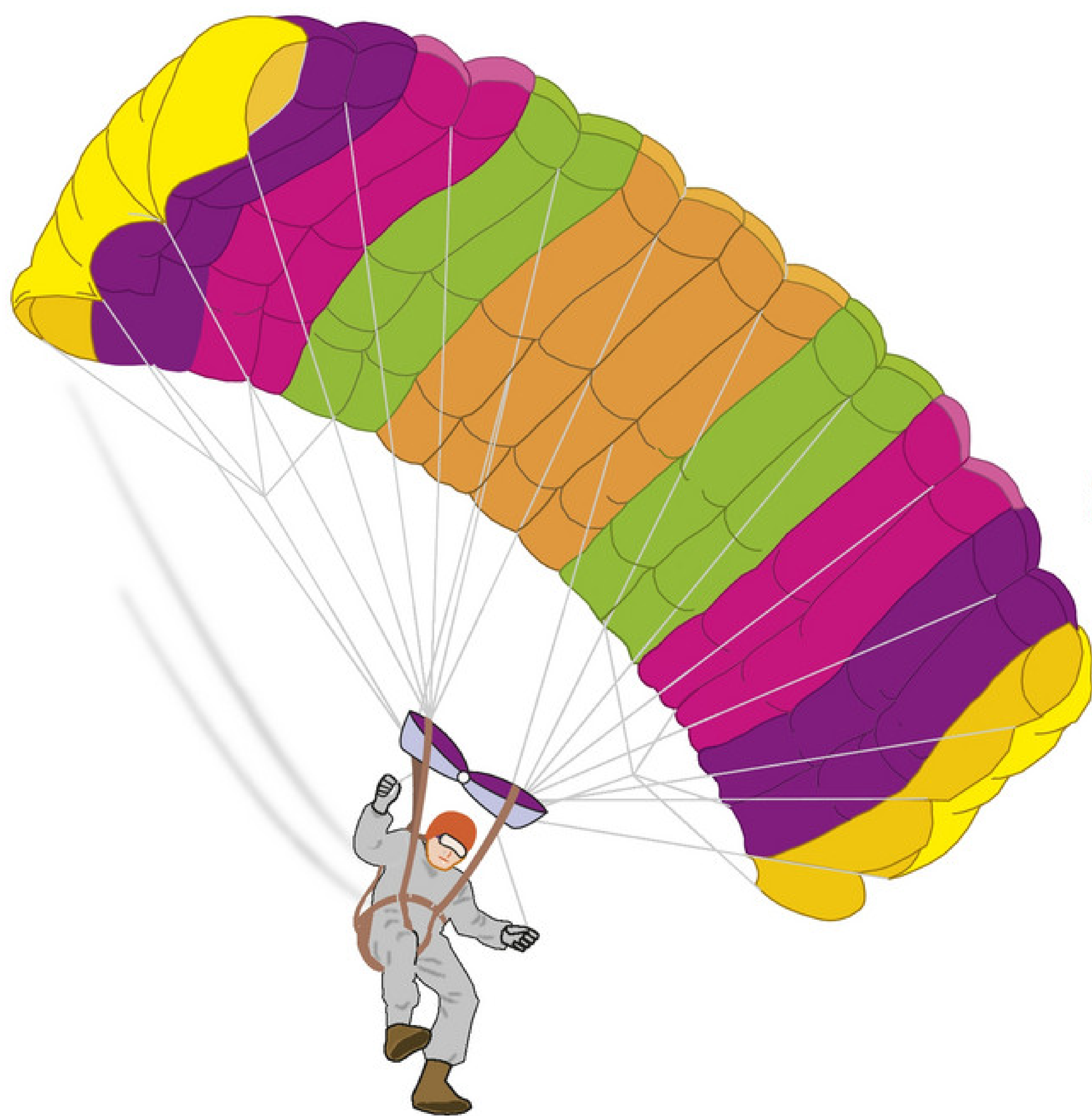


***21** Op een liftkooi werken twee krachten: de zwaartekracht (F_z) en de spankracht in de kabel (F_s). De wrijvingskracht is te verwaarlozen.
Vergelijk de grootte van F_z met de grootte van F_s in de volgende situaties:

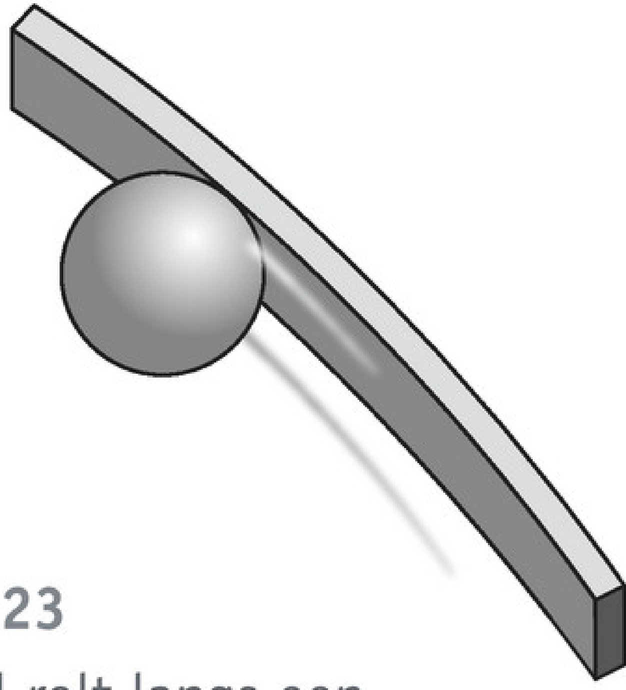
a De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt toe.
b De kooi beweegt omhoog met een constante snelheid.
c De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt af.
d De kooi hangt stil zonder te bewegen.
e De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt toe.
f De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt af.

22 Een skydiver springt uit een vliegtuig. Hij valt naar beneden en zijn snelheid neemt toe (situatie 1). Na een tijdje valt hij met een constante snelheid (situatie 2). Dan trekt hij zijn parachute open. Enige tijd later valt hij weer met constante snelheid naar beneden (situatie 3). In figuur 22 zie je de val met gesloten en met open parachute.
Wat kun je zeggen, als je de drie situaties met elkaar vergelijkt:

a over de grootte van de resultante?
b over de grootte van de snelheid?
c over de grootte van de luchtwrijving?



▲ **figuur 22**
een skydiver met gesloten en met open parachute



▲ figuur 23
Een bal rolt langs een cirkelvormige rand.

***23** Een bal rolt langs een cirkelvormige rand zoals in figuur 23.
- **a** Neem de figuur in bovenaanzicht over en teken hoe de bal verder rolt als hij loskomt van de rand.
- **b** Een voorwerp kan alleen een cirkelbaan beschrijven als er een resultante is.
  Teken in je tekening de resultante op de bal terwijl deze langs de rand rolt.

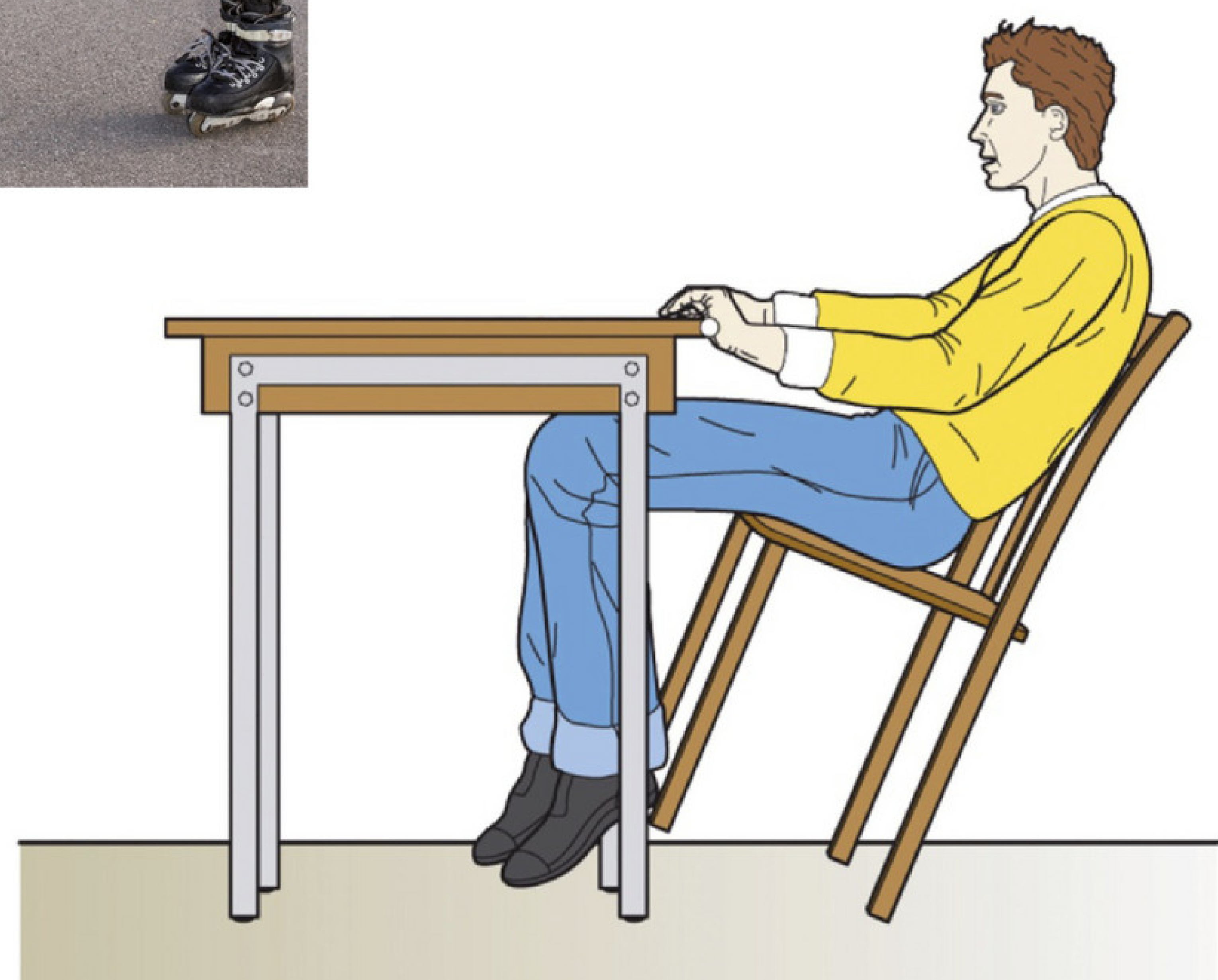
Plus Derde wet van Newton

24 Veel vliegtuigen hebben straalmotoren.
- **a** Wat is dan de actiekracht?
- **b** Wat is de reactiekracht?
- **c** Wat weet je over de grootte en de richting van die twee krachten?
- **d** Leg uit waarom die twee krachten elkaar niet kunnen opheffen.

25 De Derde wet van Newton kom je in allerlei situaties tegen.
Verklaar wat er gebeurt in de volgende situaties met behulp van deze wet:
- **a** Je staat op rollerskates en duwt je vriend, ook op rollerskates, van je af (figuur 24).
- **b** Je zit in een kano en je beweegt je peddel naar achteren.
- **c** Je staat op rollerskates en je blaast bladeren naar voren weg met een bladblazer.
- **d** Je duwt tegen een tafel zoals in figuur 25.

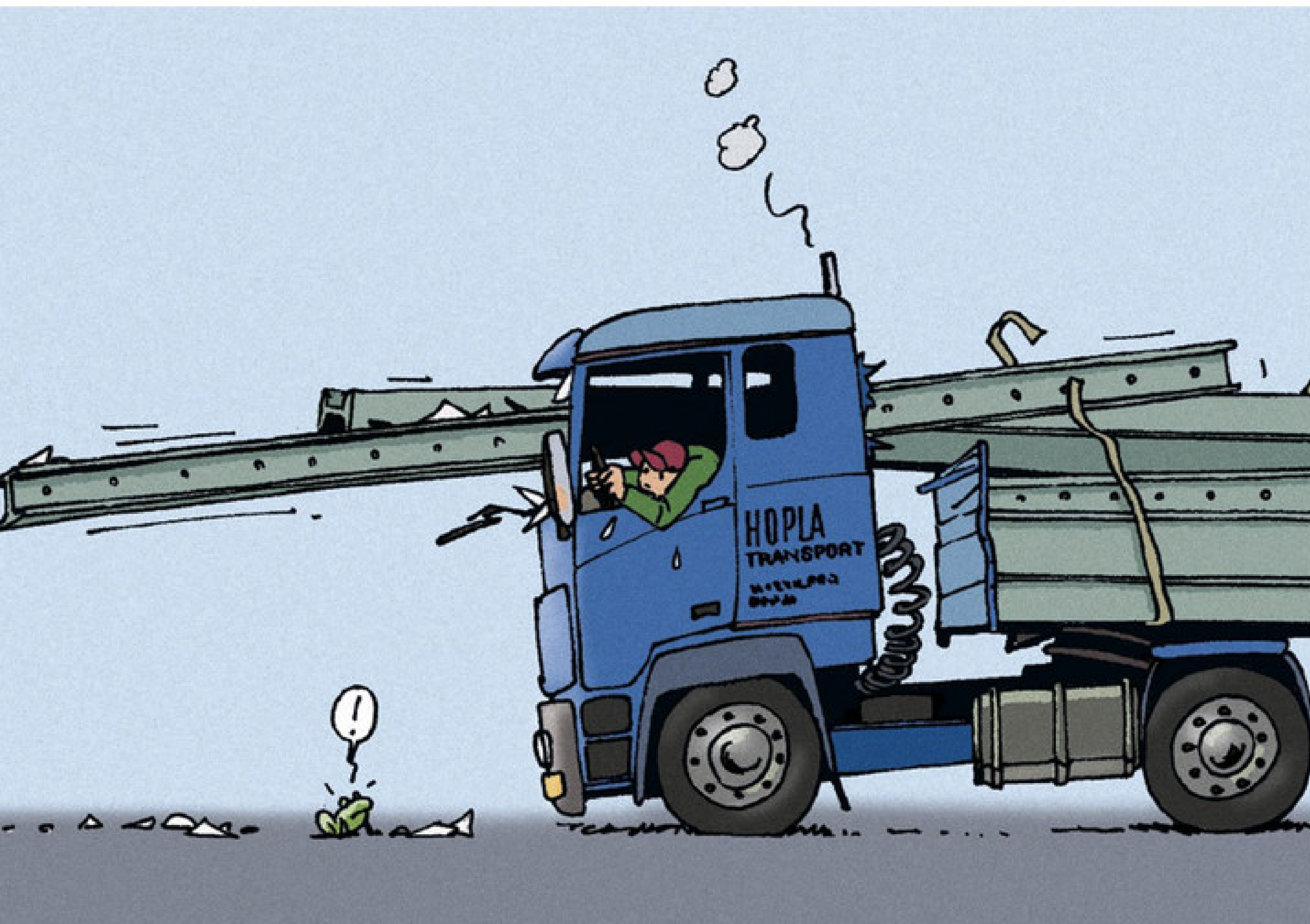


▶ figuur 24
twee jongens op rollerskates



▶ figuur 25
Een leerling duwt tegen een tafel.

3 Kracht, massa en versnelling



▲ figuur 26
Stalen balken hebben een grote massa en daardoor ook een grote traagheid.

Een zwaar beladen vrachtwagen komt maar langzaam op gang. Hoe groter de massa van de lading, des te kleiner is de versnelling (als de chauffeur evenveel gas geeft). Hetzelfde merk je als je wegrijdt terwijl er iemand achter op je fiets zit: het optrekken tot de gewenste snelheid duurt dan veel langer.

Traagheid

De massa bepaalt hoe moeilijk het is om een voorwerp te versnellen, af te remmen of een andere richting op te laten gaan. Hoe groter de massa van een voorwerp, des te moeilijker is het om de snelheid of de bewegingsrichting te veranderen. Anders gezegd: een voorwerp met een grote massa heeft een grote **traagheid**. Er is een grote resultante nodig om de snelheid of de bewegingsrichting merkbaar te veranderen. Een chauffeur die stalen balken vervoert, weet dat zijn lading een grote traagheid heeft. Als hij de balken niet stevig vastzet, zullen ze bij een noodstop gewoon verder bewegen (figuur 26).

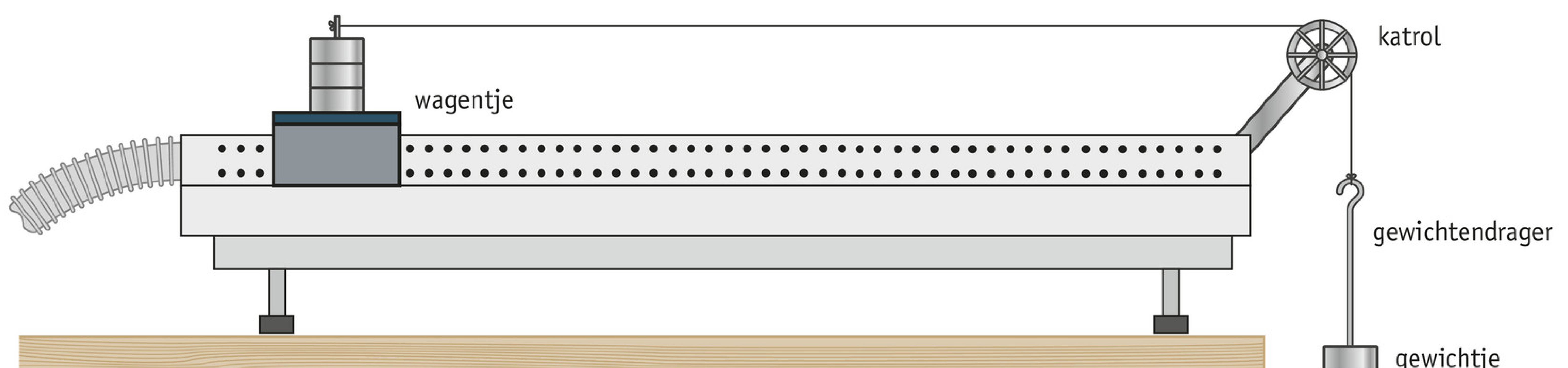
De Tweede wet van Newton Proef 3

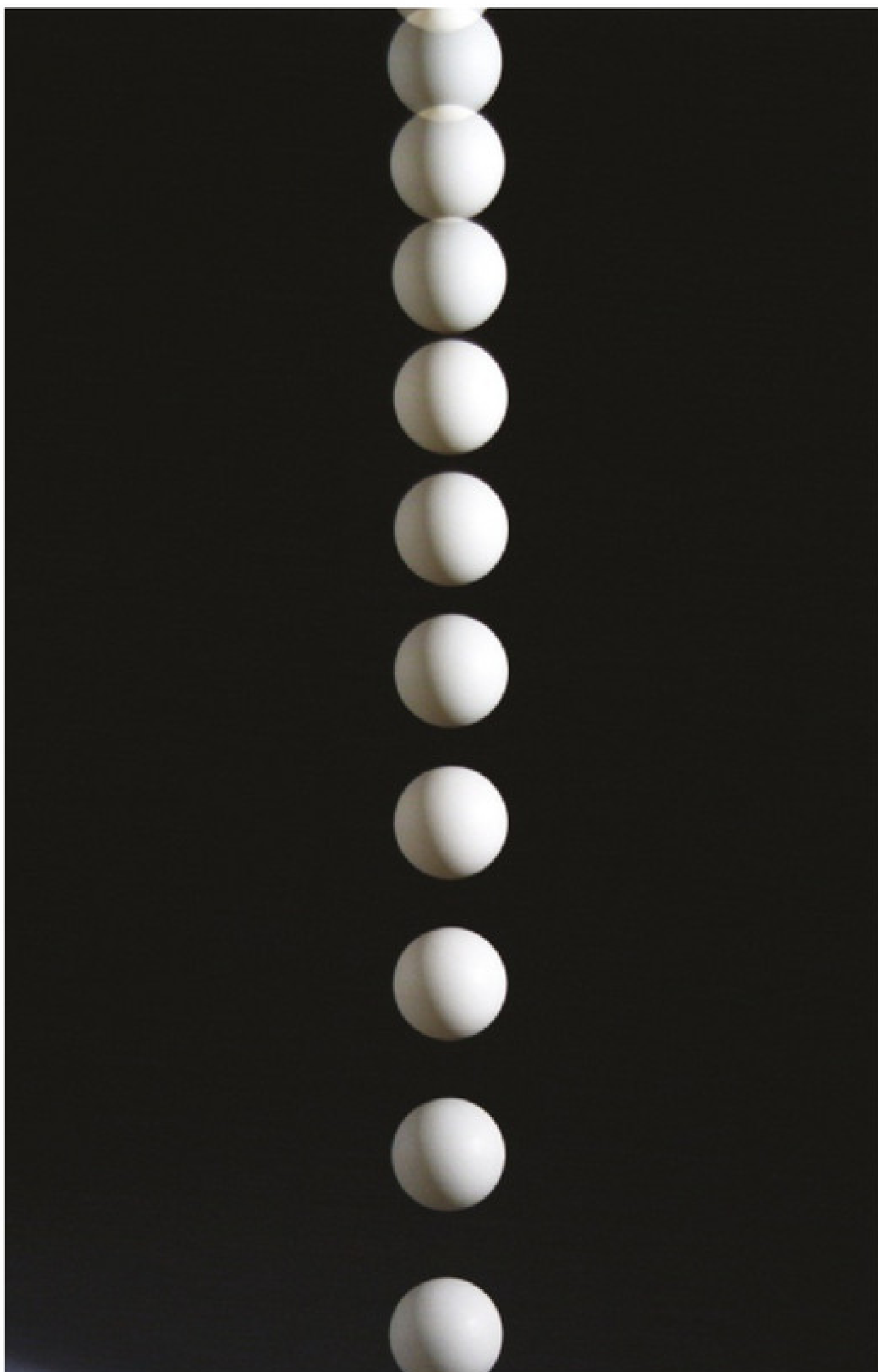
Met de opstelling in figuur 27 kun je een wagentje versneld laten bewegen over een luchtkussenbaan. De baan heeft een groot aantal gaatjes waar lucht uit stroomt. Doordat de glijder 'zweeft' op een laagje lucht, zijn de tegenwerkende krachten te verwaarlozen. De resultante F_{res} is daarom gelijk aan de voortstuwende kracht. Die voortstuwende kracht is de zwaartekracht op de gewichtendrager en het gewichtje. De massa *m* van de glijder en de gewichtjes kun je bepalen met een weegschaal. De versnelling *a* bepaal je door de snelheidsverandering te meten met een bewegingssensor.

Uit dit soort proeven blijkt dat er een eenvoudig verband bestaat tussen de resultante, de massa en de versnelling. In formulevorm:

$$F_{res} = m \cdot a$$

▼ figuur 27
een experiment met een luchtkussenbaan





▲ figuur 28
Een pingpongbal valt versneld naar beneden.

Als je de massa m invult in kg en de versnelling a in m/s², vind je de resultante F_{res} in N. Dit is de **Tweede wet van Newton**.

De definitie van de newton, de eenheid van kracht, is gebaseerd op deze formule. Volgens die definitie is 1,0 N gelijk aan de (resulterende) kracht die een massa van 1,0 kg een versnelling geeft van 1,0 m/s².

Voorbeeldopgave 4
Een auto (m = 800 kg) trekt eenparig versneld in 3,0 s op van stilstand naar 50 km/h.
Bereken de resultante in kN.

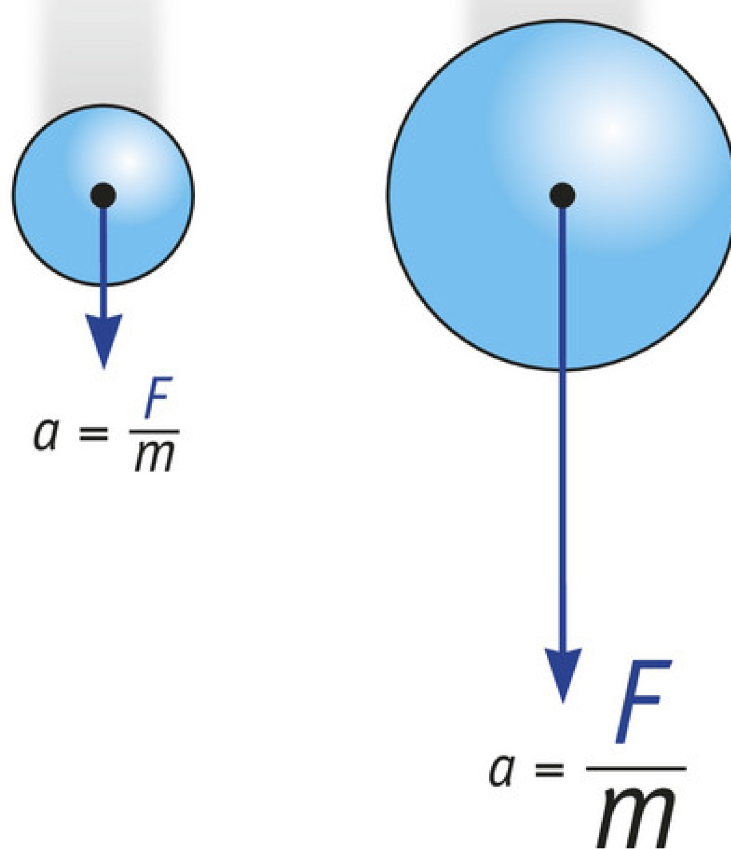
gegevens
$v_b = 0$ m/s
$v_e = 50$ km/h $= 13,9$ m/s
$\Delta t = 3,0$ s
$m = 800$ kg

gevraagd
$F_{res} = ?$

uitwerking
$\Delta v = v_e - v_b = 13,9$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{13,9}{3,0} = 4,63 \text{ m/s}^2$$

$$F_{res} = m \cdot a = 800 \times 4,63 = 3704 \text{ N} = 3,7 \text{ kN}$$



▲ figuur 29
Alle voorwerpen in vrije val hebben dezelfde versnelling.

Valbewegingen

In figuur 28 zie je een stroboscopische foto van een vallende pingpongbal. De bal beweegt door de zwaartekracht versneld naar beneden. Als je de luchtwrijving kunt verwaarlozen, dan is zijn beweging eenparig versneld. Alleen dan spreek je in de natuurkunde van een **vrije val**.

Voor voorwerpen in vrije val geldt: $a = F_z : m$. Als de massa van een voorwerp 2× zo groot is, is de zwaartekracht dat ook. Dus is $F_z : m$ en ook de **valversnelling** voor alle voorwerpen even groot (figuur 29). Vlak bij het aardoppervlak is dat 9,8 m/s². Op de maan is de valversnelling een stuk kleiner (figuur 30).



◀ figuur 30
In 1971 liet astronaut David Scott zien dat een hamer en een veer met dezelfde versnelling en snelheid vallen op de maan.

In het dagelijks leven kun je de luchtwrijving meestal niet verwaarlozen. Denk bijvoorbeeld aan een pluisje dat door de lucht naar beneden zweeft. Zo'n pluisje valt met een constante snelheid, doordat de luchtweerstand even groot is als de zwaartekracht. Hierdoor is de resultante 0 N. Alleen helemaal aan het begin van de beweging heeft het pluisje even versneld bewogen.

Krachten onder een hoek

Het bepalen van de resultante is moeilijker als er ook schuine krachten werken. Op een kitesurfer bijvoorbeeld werken de zwaartekracht, de wrijvingskracht, de normaalkracht van het water en ook de kracht van de vlieger (figuur 31). Dan kun je de resultante bepalen door de schuine kracht op te splitsen in een verticale en een horizontale **component**. Hoe je dat doet, zie je in figuur 31. Je noemt dat: het **ontbinden** van een kracht.



▶ **figuur 31**
een kracht ontbinden in componenten

Als de surfer op het wateroppervlak blijft, zijn de krachten in verticale richting in evenwicht en geldt verticaal: $F_{res,vert} = 0$.
Voor de horizontale component van de spankracht in het touw geldt $F_x = F_{span} \cdot \cos \alpha$. Dan geldt $F_{res,hor} = F_{span} \cdot \cos \alpha - F_w$. Daarmee kun je dan de horizontale versnelling berekenen.

Voorbeeldopgave 5
In figuur 31 oefent de vlieger een kracht van 800 N uit op de surfer. De massa van surfer en plank is 80 kg. De hoek tussen het touw en de grond is 35°. De surfer ondervindt een wrijvingskracht van 600 N. Bereken de versnelling van de surfer.

gegevens
$F_{vlieger} = 800$ N
$F_w = 600$ N
$m = 80$ kg
$\alpha = 35°$

gevraagd
$a = ?$

uitwerking
$F_x = F_{span} \cdot \cos \alpha = 800 \times \cos 35° = 655$ N
$F_{res} = F_x - F_w = 655 - 600 = 55$ N

$$a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{55}{80} = 0{,}69 \text{ m/s}^2$$

Plus Vallen met luchtwrijving

Op een vallend voorwerp werken over het algemeen twee krachten: de zwaartekracht F_z en de luchtwrijving $F_{w,l}$. De zwaartekracht is tijdens de val constant. De wrijvingskracht hangt van de snelheid van het voorwerp af. Als je een voorwerp loslaat, neemt de snelheid en dus de wrijvingskracht toe. Er komt dus een moment dat beide krachten even groot zijn. De resultante op het voorwerp is dan nul en volgens de Eerste wet van Newton is de snelheid van het voorwerp dan constant.

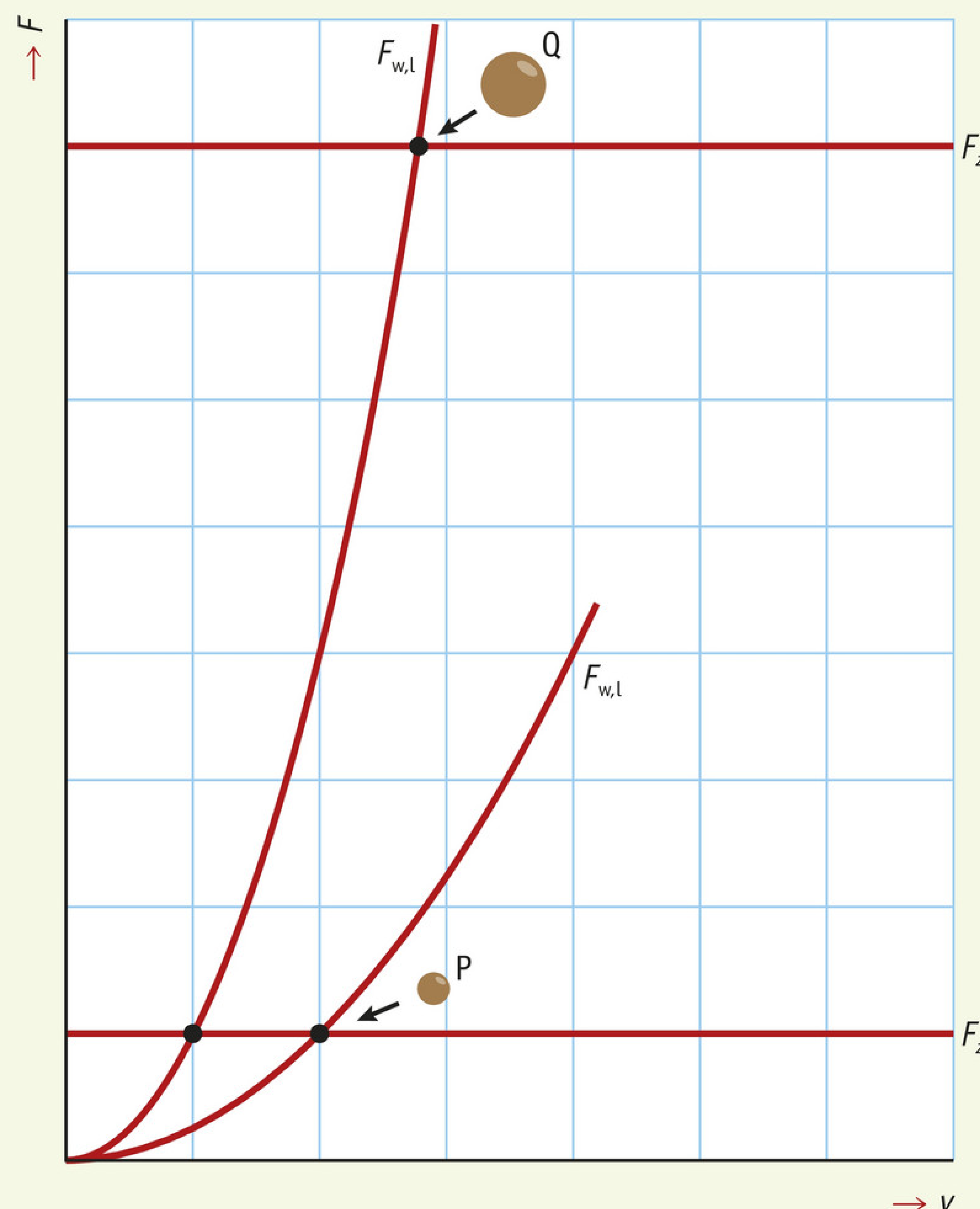
Je laat twee houten ballen P en Q vallen. Bal Q heeft een 2× zo grote straal als bal P. Het volume van een bol is evenredig met r^3 en het volume van Q is dus $2^3 = 8\times$ zo groot als dat van P. Dan is ook de massa van bal Q 8× zo groot en dus ook de zwaartekracht op Q.
Voor de luchtwrijving geldt:

$$F_{w,l} = ½ \cdot C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

$F_{w,l}$	Bij de eindsnelheid is de luchtwrijving op Q dus 8× zo groot als bij P.
C_w en ρ	Daarvan is de waarde voor beide ballen even groot.
A	Als de straal r van bol Q 2× zo groot is, is het oppervlak A dus 4× zo groot.

Voor Q geldt dat $F_{w,l}$ dus 8× zo groot is en A 4× zo groot. Dan moet v^2 dus 2× zo groot zijn. De eindsnelheid van Q is dus √2× zo groot dan die van P. Bal Q is dus eerder op de grond.

In figuur 32 zie je de grafieken van de zwaartekracht en de luchtwrijving op beide ballen. Op het snijpunt kun je de eindsnelheid aflezen. Dan zie je ook dat de zware bal Q een grotere eindsnelheid heeft.
Die redenering geldt vaak ook voor verschillende voorwerpen. Het verklaart bijvoorbeeld waarom een kat een val van het dak meestal wel overleeft en een mens vaak niet.

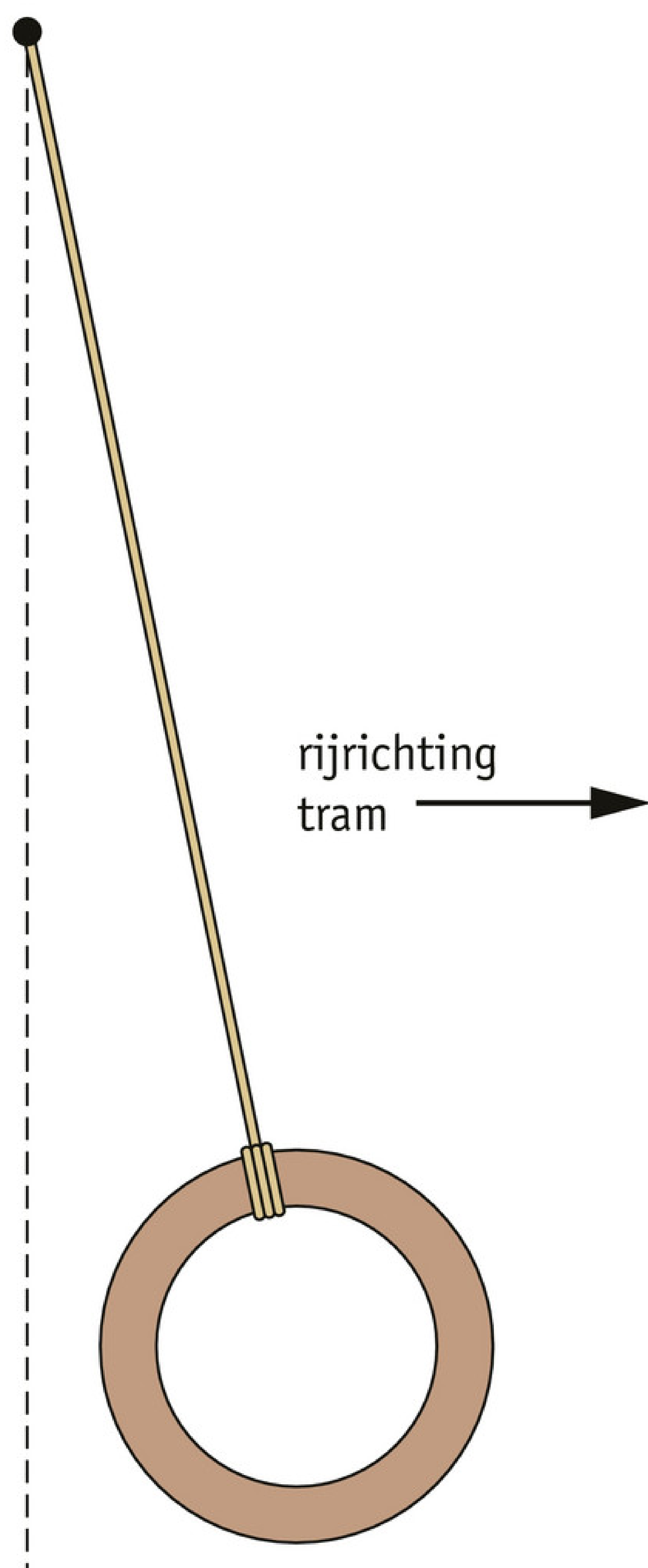


▶ **figuur 32**
Hoe groter de bal, hoe groter zijn eindsnelheid.

opgaven

26 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welk verband bestaat er tussen de resultante, de massa en de versnelling?
- **b** Hoe komt het dat de glijder van een luchtkussenbaan (bijna) geen tegenwerkende krachten ondervindt?
- **c** Hoe luidt de definitie van de newton?
- **d** Wanneer mag je een val een vrije val noemen?

27 Een volgeladen vrachtwagen heeft een veel grotere traagheid dan een lege vrachtwagen.
Hoe merkt een vrachtwagenchauffeur dat:
- **a** bij het optrekken?
- **b** bij het nemen van bochten?
- **c** bij het afremmen?



▲ **figuur 33**
een ring in een tram

28 In sommige trams hangen ringen aan een touwtje. Passagiers kunnen zich aan zo'n ring vasthouden. Zolang de tram stilstaat, hangt het touwtje verticaal naar beneden. Bij een tram in beweging is dat niet altijd zo. Je ziet dat het touwtje een hoek maakt met de verticaal (figuur 33).
Geef voor de situatie van deze figuur aan wat voor soort beweging de tram uitvoert.
A De tram rijdt met constante snelheid vooruit.
B De tram rijdt met constante snelheid achteruit.
C De tram remt af.
D De tram trekt op.
Naar IJSO

29 De motor van figuur 34 trekt in 4,2 s eenparig versneld op van 0 naar 100 km/h. Het hoofd van de berijder heeft een massa van 6,2 kg en hij draagt een helm van 1,6 kg. Zijn nekspieren zorgen voor de benodigde kracht bij het optrekken.
a Bereken de versnelling.
b Bereken de kracht die zijn nekspieren moeten leveren.
c Denk je dat dit een verklaring kan zijn van de veelvoorkomende nekklachten van motorrijders?



▲ **figuur 34**
Meestal trekt een motor veel sneller op dan een auto.

30 De Airbus A380-800 is het grootste passagiersvliegtuig ter wereld (figuur 35). De vier motoren leveren bij de start samen een stuwkracht van $1{,}2 \cdot 10^6$ N. De massa (inclusief brandstof en lading) is $5{,}6 \cdot 10^5$ kg. Verwaarloos de luchtwrijving.
a Bereken de versnelling gedurende de eerste seconden van de start.
b Toon aan dat de snelheid van de Airbus na 3 s gelijk is aan 6,4 m/s (23 km/h).
c Bepaal de afstand die de Airbus aflegt in de eerste 3 s.
d Bereken de snelheid in km/h die een auto van 1200 kg na 3 s zou hebben als hij door een van deze motoren werd aangedreven.



▲ **figuur 35**
het grootste passagiersvliegtuig ter wereld



De natuurkunde van 's werelds snelste man

De regerend Olympisch kampioen en wereldkampioen op de 100 meter en 200 meter sprint, Usain Bolt, wist tot nu toe zes Olympische gouden medailles te winnen en is al achtvoudig wereldkampioen op diverse sprintafstanden.
De sleutel tot Bolts succes is de horizontale kracht die hij kan ontwikkelen. Hij komt uit de startblokken met een versnelling van bijna 10 m/s^2, waarbij hij een (horizontale) kracht uitoefent van 817 N.
Bolt blijkt als een van de weinigen deze kracht over de hele 100 meter te behouden. Doordat de luchtwrijving snel toeneemt, neemt z'n versnelling na de start snel af. Zijn versnelling wordt tussen de vierde en vijfde seconde nul en hij legt de rest van de race af met een constante snelheid van 12,2 m/s.

Naar: http://www.gizmag.com/usain-bolt-fastest-man-physics-analysis/28457/

▲ **figuur 36**
een internetartikel over de legendarische Usain Bolt

31 Lees de internettekst in figuur 36.
- **a** In de tekst staat dat Bolt een kracht uitoefent. Waarop oefent hij die kracht uit?
- **b** Maak met behulp van de gegevens in de tekst een schatting van de massa van Usain Bolt. Tip: verwaarloos de tegenwerkende krachten tijdens de start.
- **c** Schets met de gegevens in de tekst het (v,t)-diagram van een 100 meterrace van Usain Bolt.
- **d** Tijdens een wedstrijd over 100 m legt Bolt in de eerste 4 s een afstand van 30 m af. Na de vierde seconde versnelt hij niet meer en loopt hij verder met een constante snelheid van 12,2 m/s. Bereken de eindtijd van Bolt in deze race.

32 In figuur 37 zie je een testrapport van de Nissan Qashqai.
- **a** De aanduiding 'gewicht rijklaar' is natuurkundig niet juist. Om welke natuurkundige grootheid gaat het hier dan wel?
- **b** In het testrapport staat hoe snel de Qashqai optrekt van 0 naar 100 km/h. Bereken de grootte van de (gemiddelde) resultante op de Qashqai.
- **c** De voortstuwende kracht moet in werkelijkheid (veel) groter zijn dan de kracht die je bij b hebt berekend. Geef hiervoor een verklaring.



maten en gewichten	
tankinhoud	55 L
gewicht rijklaar*	1250 kg
aanhanger	675 kg
aanhanger geremd	1200 kg
prestaties	
versnellingen	6
acceleratie 0 naar 100 km/h	11,3 s
topsnelheid	183 km/h

(*) inclusief bestuurder en volle tank brandstof
Bron: www.autozine.nl

◀ **figuur 37**
een testrapport van de Nissan Qashqai

***33** Vervolg van opgave 32.
In figuur 37 zie je ook hoe groot de massa van een 'aanhanger' en een 'aanhanger geremd' maximaal mag zijn.

- **a** Leg uit wat wordt bedoeld met een 'aanhanger geremd'.
- **b** Verklaar waarom de massa van een 'aanhanger geremd' veel groter mag zijn dan de massa van een 'aanhanger'.
- **c** Twee Qashqais, A en B, trekken tegelijk zo snel mogelijk op. Achter Qashqai A hangt een aanhanger van 1200 kg, achter Qashqai B hangt niets. Verder verschillen de auto's niet van elkaar.
  Toon aan dat de versnelling van Qashqai A ongeveer 2× zo klein is als de versnelling van Qashqai B.
- **d** Leg uit waarom de versnelling van auto A zelfs meer dan 2× zo klein zal zijn dan die van auto B.

***34** Tijdens een maanlanding in juli 1971 deed de Amerikaanse astronaut David Scott een eenvoudig valexperiment (figuur 30 op bladzijde 203). Hij liet een hamer en een veer tegelijk van dezelfde hoogte vallen.
Op een video die van dit experiment is gemaakt, zie je dat de twee voorwerpen op hetzelfde moment de maanbodem bereiken.

- **a** Leg uit waardoor het resultaat van de proef op de maan anders is dan op aarde.
- **b** Uit een videometing blijkt dat de veer en de hamer beide na 1,4 s neerkomen met een snelheid van 2,3 m/s.
  Bereken de valversnelling op de maan.
- **c** Toon aan dat de twee voorwerpen 1,6 m boven de maanbodem werden losgelaten.

***35** Een poolreiziger trekt een slee met bagage voort. Het touw van de slee heeft hij rond zijn middel vastgemaakt. De touwen maken een hoek van 30° met de horizontale ijsvlakte. De massa van slee plus bagage is 280 kg.
Op een windstille dag loopt de reiziger een uur lang met een constante snelheid van 1,0 m/s over het ijs. Hij levert dan een trekkracht van 230 N in de richting van de touwen.

- **a** Maak een schets van de situatie en teken de vector van de trekkracht in de juiste richting.
- **b** Teken daarin de component van de trekkracht die zorgt voor de voortstuwing.
- **c** Teken de totale wrijvingskracht.
- **d** Waarom mag je de luchtwrijving op de slee verwaarlozen?
- **e** Bereken de wrijvingskracht op de slee.
- **f** Leg uit waarom je de slee beter kunt trekken met een touw om je middel dan om je schouders.

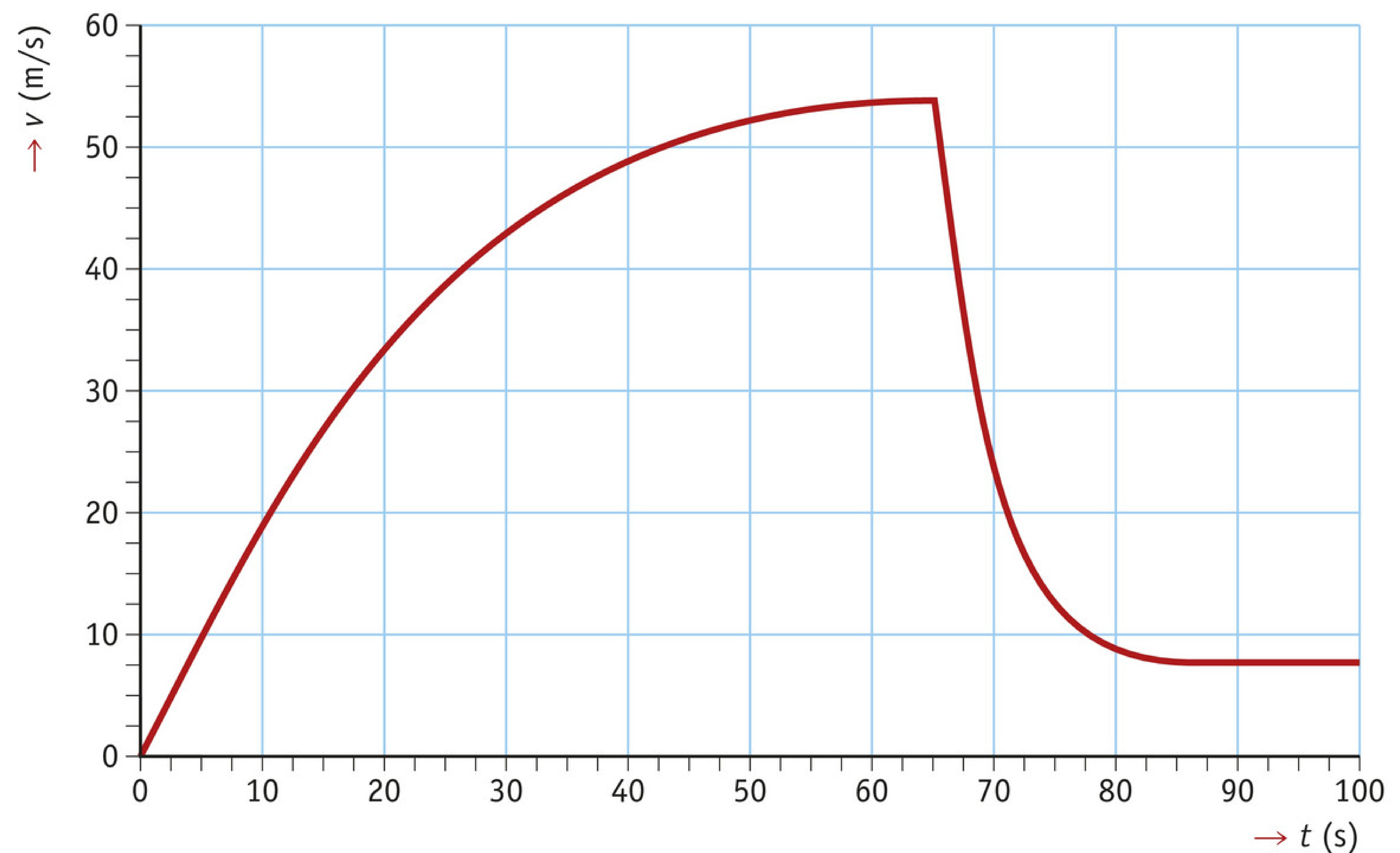
Plus Vallen met luchtwrijving

36 In figuur 22 op bladzijde 200 zag je een skydiver in actie. In figuur 38 zie je hoe de snelheid van de skydiver verandert tijdens zijn sprong.

a Hoe komt het dat de grafiek steeds minder steil omhoogloopt?

b Op welk tijdstip opende de skydiver zijn parachute?

c Bepaal de eindsnelheid van de skydiver tijdens het laatste deel van de beweging.



▶ **figuur 38**
het (v,t)-diagram van de skydiver

***37** Een regendruppel die uit een wolk loskomt, versnelt eerst maar valt uiteindelijk met een constante snelheid.

a Leg uit waardoor de druppel op een bepaald moment met een constante snelheid valt.

b De druppel is een bolletje met een straal van 1,0 mm. De C_w van een bol is 0,47. De dichtheid van water is 1,0 kg/dm^3 en die van lucht is 1,3 kg/m^3. Het volume van een bol bereken je met: $V = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$. Bereken de snelheid waarmee deze druppel op de aarde aankomt.

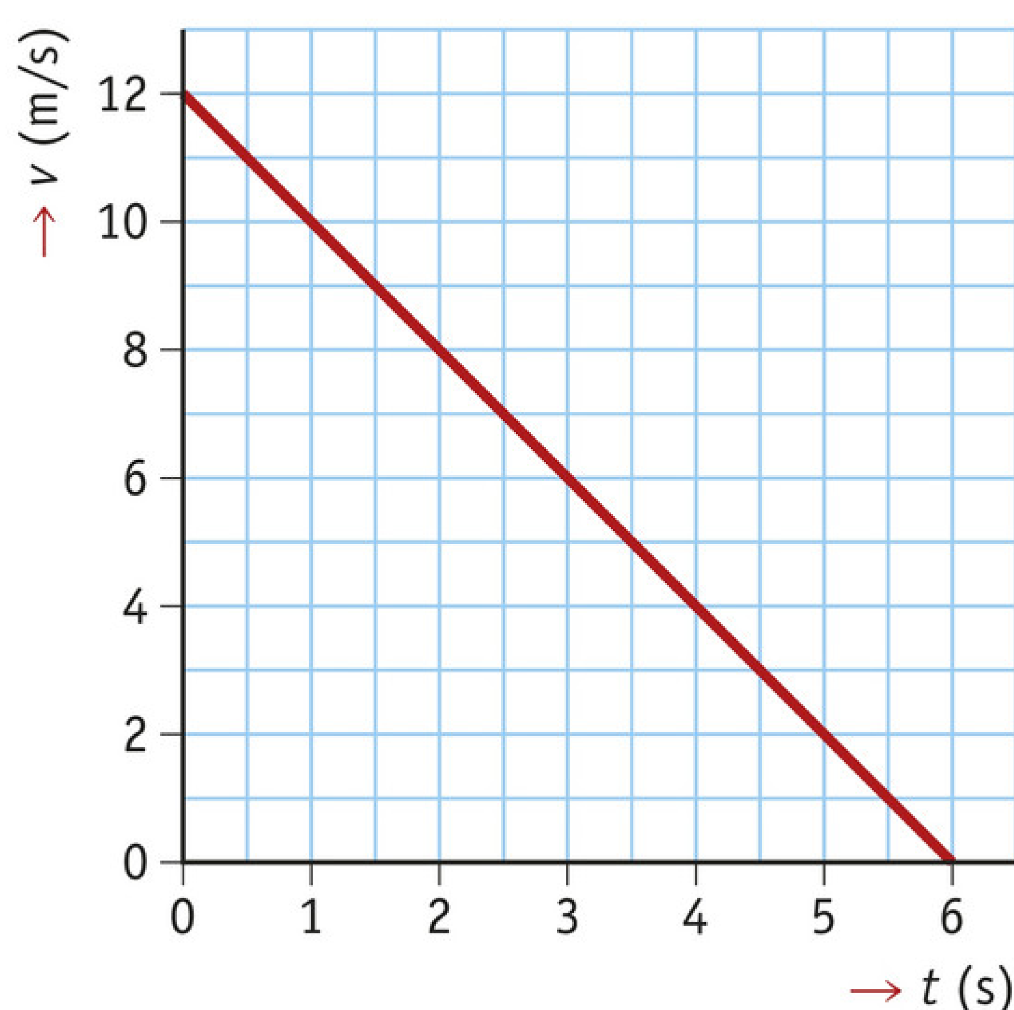
c Laat zien dat een druppel met een 2× zo grote straal niet een 2× zo grote eindsnelheid krijgt.

4 Remmen en botsen

De overheid heeft veel maatregelen genomen om het verkeer veiliger te maken. Heel snel rijden mag niet, alcohol in het verkeer is verboden, kruispunten zijn veel duidelijker ingericht en veiligheidsgordels en valhelmen zijn verplicht. Maar je veiligheid in het verkeer hangt toch vooral af van je eigen gedrag.

De eenparig vertraagde beweging

In figuur 39 zie je het (v,t)-diagram van een auto die afremt voor een stoplicht. De snelheid neemt elke seconde af met 2 m/s en de beweging is **eenparig vertraagd**. De snelheidsafname per seconde noem je de **vertraging**. Ook voor de vertraging gebruik je als symbool de letter a. Een vertraging is altijd een negatief getal; hier is dus: $a = -2$ m/s^2.



▲ **figuur 39**
het (v,t)-diagram van een remmende auto

De remkracht berekenen

Met de formule $F_{res} = m \cdot a$ kun je de resultante op een remmend voertuig berekenen. In dit geval is de resultante de totale remkracht op de auto. Omdat a een negatief getal is, zal de remkracht F_{rem} ook negatief zijn. Daaraan zie je dat deze kracht de beweging tegenwerkt.

Voorbeeldopgave 6

Een auto (m = 1200 kg) remt gedurende 5,0 s af voor een haarspeldbocht. De snelheid neemt daardoor eenparig af van 81 km/h naar 27 km/h.

1 Bereken de vertraging.
2 Bereken de remkracht in kN.

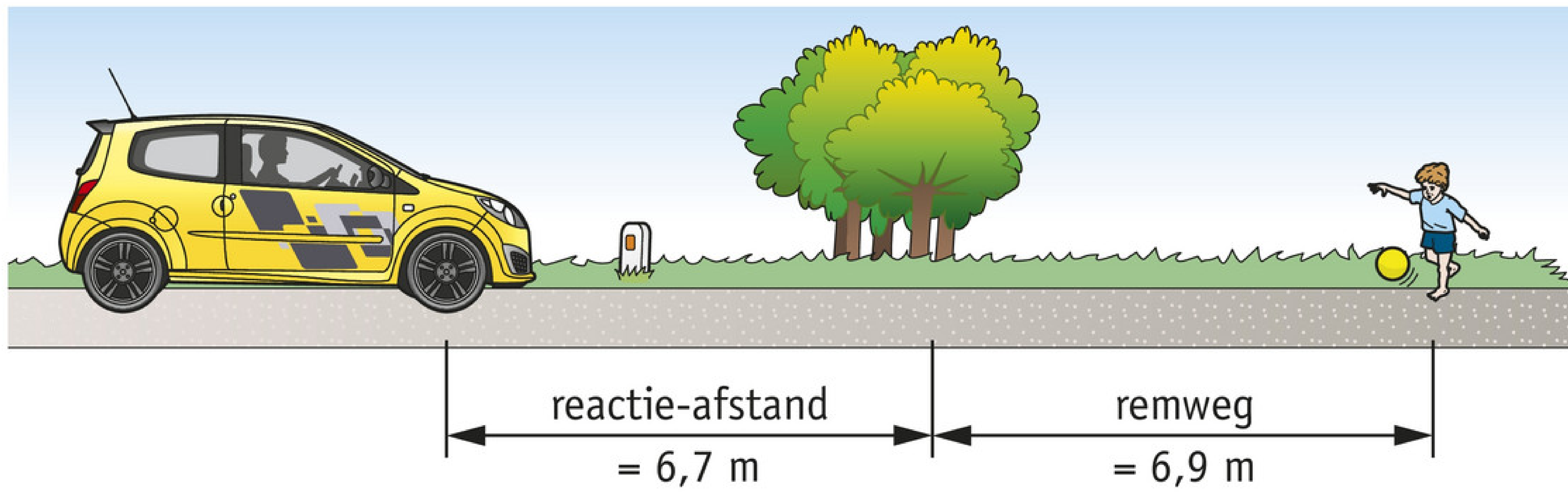
gegevens
v_b = 81 km/h = 22,5 m/s
v_e = 27 km/h = 7,5 m/s
Δt = 5,0 s
m = 1200 kg

gevraagd
1 a = ?
2 F = ?

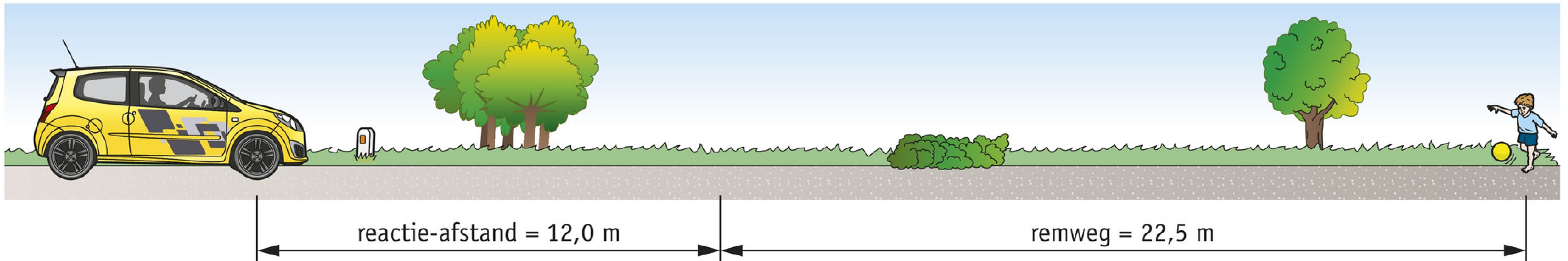
uitwerking
1 $\Delta v = v_e - v_b = 7{,}5 - 22{,}5 = -15$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-15}{5{,}0} = -3{,}0 \text{ m/s}^2$$

2 $F = m \cdot a = 1200 \times -3{,}0 = -3600$ N $= -3{,}6$ kN



Bij 30 km/h is de stopafstand 6,7 + 6,9 = 13,6 m



Bij 40 km/h is de stopafstand 12,0 + 22,5 = 34,5 m

▼ **figuur 40**
de stopafstand bij een reactietijd van 0,8 s en een vertraging van 5 m/s²

De stopafstand bepalen

Een auto moet remmen voor een plotseling overstekend kind (figuur 40). In figuur 41 zie je het (v,t)-diagram van de auto. In het diagram zie je dat de reactietijd 0,8 s is. De afstand die de auto in die tijd aflegt, noem je de **reactie-afstand**. Daarna vertraagt de auto 3,0 s lang, tot hij stilstaat. De afstand die hij gedurende het remmen aflegt, noem je de **remafstand**. Dan geldt:

stopafstand = reactie-afstand + remafstand

Je kunt de **stopafstand** bepalen door het oppervlak onder het (v,t)-diagram te berekenen tussen t = 0 en t = 3,8 s.
Als je dat in figuur 41 doet (nadat je de snelheid hebt omgerekend van km/h naar m/s), kom je uit op een stopafstand van 34,5 m. Ga zelf na dat dit zo is.

Je kunt die afstanden ook berekenen. De remafstand bereken je door eerst de gemiddelde snelheid uit te rekenen.



▲ **figuur 41**
remmen in het verkeer: eerst reageren, dan vertragen

Voorbeeldopgave 7
Een auto rijdt met 54 km/h en remt af tot stilstand met een vertraging van 5,0 m/s². De reactietijd van de bestuurder is 0,80 s (figuur 40).
Bereken de stopafstand.

gegevens
v_b = 54 km/h = 15 m/s
v_e = 0 m/s
$t_{reactie}$ = 0,80 s
a = −5,0 m/s²

gevraagd de stopafstand

uitwerking reactie-afstand = 15 × 0,80 = 12 m
gemiddelde snelheid = $(v_{eind} + v_{begin}) : 2 =$
$(0 + 15) : 2 = 7{,}5$ m/s

remtijd: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ en dus $-5{,}0 = \frac{-15}{\Delta t}$

$-5{,}0 \cdot \Delta t = -15$ en dus is $\Delta t = 15 : 5{,}0 = 3{,}0$ s

remafstand = $v_{gem} \cdot t = 7{,}5 \times 3{,}0 = 22{,}5$ m
stopafstand = 12 + 22,5 = 34,5 m

Botsen Proef 4

Tijdens een botsing komen de inzittenden van een auto in een zeer korte tijd tot stilstand. De vertraging a is dan erg groot en daarvoor is dus een grote afremmende kracht F nodig. Die grote kracht kan ernstige verwondingen veroorzaken. Om het risico op verwondingen te beperken, moet de vertraging dus zo klein mogelijk zijn. Voor de vertraging a geldt: $a = \Delta v : \Delta t$. Je kunt a dus op twee manieren kleiner maken:

- Δv zo klein mogelijk maken. Dan moet je dus niet te snel rijden.
- Δt zo groot mogelijk maken. De botsingstijd Δt kun je verlengen met kreukelzones, airbags en uitrekkende autogordels.

Voorbeeldopgave 8
Bij een botsproef met een auto komt een testpop (80 kg) in 0,16 s tot stilstand. De snelheid van de auto is 36 km/h. De testpop is vastgemaakt met een gordel die niet uitrekt.
Bereken de gemiddelde remkracht op de testpop in kN.

gegevens $m = 80$ kg
$v_b = 36$ km/h = 10 m/s
$v_e = 0$ m/s
$\Delta t = 0{,}16$ s

gevraagd $F_{rem} = ?$

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 0 - 10 = -10$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-10}{0{,}16} = -62{,}5 \text{ m/s}^2$$

$F_{rem} = m \cdot a = 80 \times -62{,}5 = -5000 = -5{,}0$ kN

De kracht in dit voorbeeld is groter dan de zwaartekracht op een massa van 500 kg! In deze voorbeeldopgave rekt de gordel niet uit. In werkelijkheid is dat wel het geval. Daardoor duurt het afremmen langer en is de gemiddelde kracht op je lichaam aanzienlijk kleiner.

Druk

Gordels oefenen bij een botsing dus een grote kracht uit op de inzittenden. Daarom zijn gordels geen smalle, maar vrij brede riemen. Het contactoppervlak tussen de gordel en je lichaam is daardoor groter en dat vermindert de druk op je lichaam.
Voor **druk** p geldt:

$$p = \frac{F}{A}$$

Hierbij is F de kracht en A de oppervlakte waarop de kracht werkt. De eenheid van druk is de N/m^2 ofwel de **pascal**.

Voorbeeldopgave 9
De oppervlakte van het gebied waar de autogordel op de pop van voorbeeldopgave 8 drukt, is 300 cm^2.
Bereken de gemiddelde druk op de testpop tijdens het afremmen in kPa.

gegevens $F_{gem} = 5{,}0 \text{ kN} = 5{,}0 \cdot 10^3 \text{ N}$
$A = 300 \text{ cm}^2 = 3{,}00 \text{ dm}^2 = 0{,}0300 \text{ m}^2$

gevraagd $p_{gem} = ?$

uitwerking $p = \frac{F}{A} = \frac{5{,}0 \cdot 10^3}{0{,}0300} = 167 \cdot 10^3 \text{ Pa} = 167 \text{ kPa}$

Op je scooter vermindert een valhelm het risico op verwondingen. Een valhelm bestaat uit een harde schil en een zachte binnenkant. De zachte binnenkant verlengt de botsingstijd en vermindert daardoor de kans op hersenletsel. De harde schil spreidt de kracht over een groter oppervlak waardoor de druk veel kleiner wordt. Dat verkleint de kans op een schedelbasisfractuur aanzienlijk.

G-krachten

Versnellingen worden vaak vergeleken met de valversnelling op aarde (9,8 m/s^2). Die valversnelling wordt dan gelijk gesteld aan 1 g. Een gewone personenauto heeft bijvoorbeeld een maximale versnelling van 0,30 g (ofwel 0,30 × 9,8 = 2,9 m/s^2). Astronauten ondervinden een versnelling van 3 g tijdens de lancering. Bij een noodstop van



▲ figuur 42
Een autocoureur staat bloot aan grote G-krachten.

een raceauto kan de vertraging oplopen tot 6 *g* (figuur 42). Ook in een achtbaan kun je eventjes dergelijke versnellingen en vertragingen meemaken.
De krachten die optreden bij grote versnellingen en vertragingen kunnen gevaarlijk zijn. Je noemt ze ook wel **G-krachten**. Het effect van die krachten op je lichaam hangt niet alleen af van de grootte van de versnelling of vertraging, maar ook van de richting.

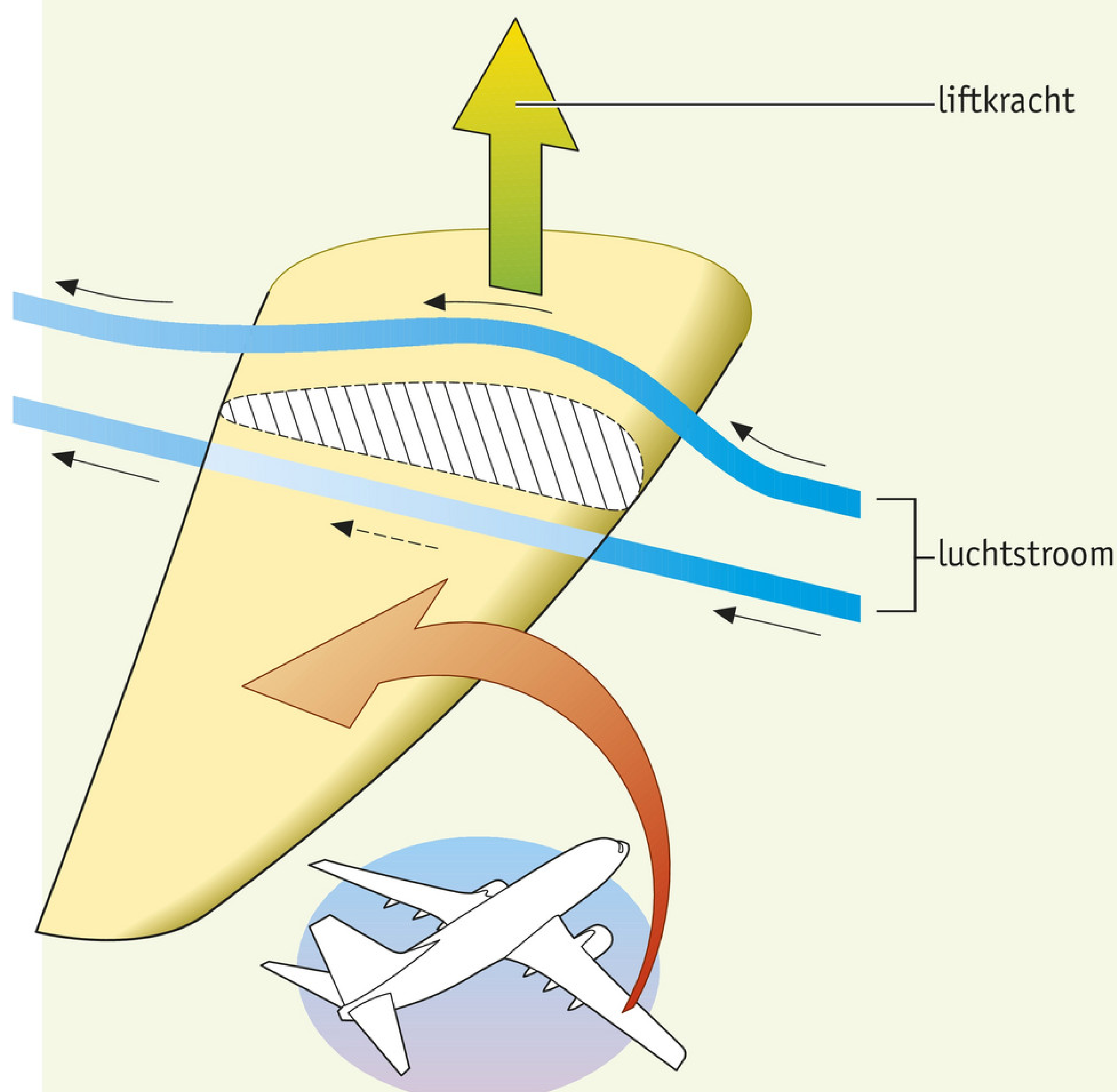
Bij opwaartse versnellingen zakt het bloed in je benen, waardoor de bloeddruk in je hoofd afneemt. Je kunt dan minder goed zien en vanaf 5 tot 6 *g* kun je bewusteloos raken. Langdurige neerwaartse versnellingen zijn nog schadelijker. Daarbij kan 2 tot 3 *g* al gezondheidsschade veroorzaken, vooral aan je ogen. Voor- en achterwaartse versnellingen zijn lang zo gevaarlijk niet. Mensen kunnen dan korte tijd tot wel 50 *g* verdragen, bijvoorbeeld bij botsingen in het verkeer.

Plus Liftkracht en wrijvingskracht

Racewagens zoals die in figuur 42, hebben aan de achterkant een soort vleugel. Zo'n vleugel noem je ook wel spoiler. Als je goed kijkt, zie je ook spoilers aan de voorkant van de auto zitten, vóór de voorwielen. Door de spoilers wordt de racewagen steviger op het wegdek gedrukt.

Een spoiler lijkt op een vliegtuigvleugel. Bij een vliegtuig ontstaat er door de vorm van de vleugel tijdens het vliegen een kracht verticaal omhoog (figuur 43). Deze kracht noem je de **liftkracht**. Een spoiler heeft dezelfde vorm als die van een vleugel, maar dan ondersteboven. Daardoor ontstaat er bij een spoiler een verticale kracht omlaag, die de auto steviger tegen de weg drukt. Hierdoor slipt hij minder snel, remt hij beter en kan hij sneller door bochten. Nadeel is wel dat de rolwrijving ook groter wordt. Dat nadeel is niet zo groot, omdat bij die hoge snelheid de rolwrijving veel kleiner is dan de luchtwrijving.

▼ figuur 43
De vorm van de vleugels van een vliegtuig zorgt voor een liftkracht.



De maximale rolwrijving tussen banden en wegdek wordt bepaald door de normaalkracht F_N op de auto. Als de auto harder tegen het wegdek duwt, wordt de normaalkracht groter. Voor de maximale rolwrijving geldt:

$$F_{w,max} = f \cdot F_N$$

De coëfficiënt f hangt af van het profiel van de band (de 'groeven' in het loopvlak), de druk in de band en van het wegdek. Bij een nat wegdek is f al gauw 20% kleiner dan bij een droog wegdek.

opgaven

38 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe noem je een beweging waarbij de snelheid gelijkmatig afneemt?

b Wat wordt bedoeld met de uitspraak: "de vertraging van de auto is 5 m/s^2"?

c Hoe bepaal je uit het (v,t)-diagram van een remmende auto de stopafstand?

d Welke twee factoren bepalen de vertraging die het lichaam bij een botsing ondergaat?

e Wat is de eenheid van druk?

39 Hieronder worden twee eenparig vertraagde bewegingen beschreven. Bereken telkens de vertraging.

a Een auto rijdt met 72 km/h en remt voor een stoplicht. Na 7,0 s staat de auto stil.

b Een auto botst met een snelheid van 50 km/h tegen een boom. De bestuurder komt na 0,3 s tot stilstand.

40 Lees het krantenartikel in figuur 44.

a Leg uit of de leerlingen in de bus naar voren of naar achteren vielen.

b Aan welk veiligheidsvoorschrift voldeden de leerlingen niet?

c De buschauffeur (m = 95 kg) remde met een vertraging van 6,0 m/s^2. Hij had een veiligheidsgordel om.
Bereken de kracht van de gordel op de chauffeur.

d Het contactoppervlak tussen de gordel en de chauffeur bedroeg 250 cm^2.
Bereken de druk van de veiligheidsgordel op de chauffeur.

41 Een automobilist ziet een haas de weg op rennen. In figuur 45 zie je het (v,t)-diagram van zijn auto vanaf het moment (t = 0 s) dat hij de haas ziet.

a Bepaal de reactietijd.

b Bepaal de vertraging van de auto.

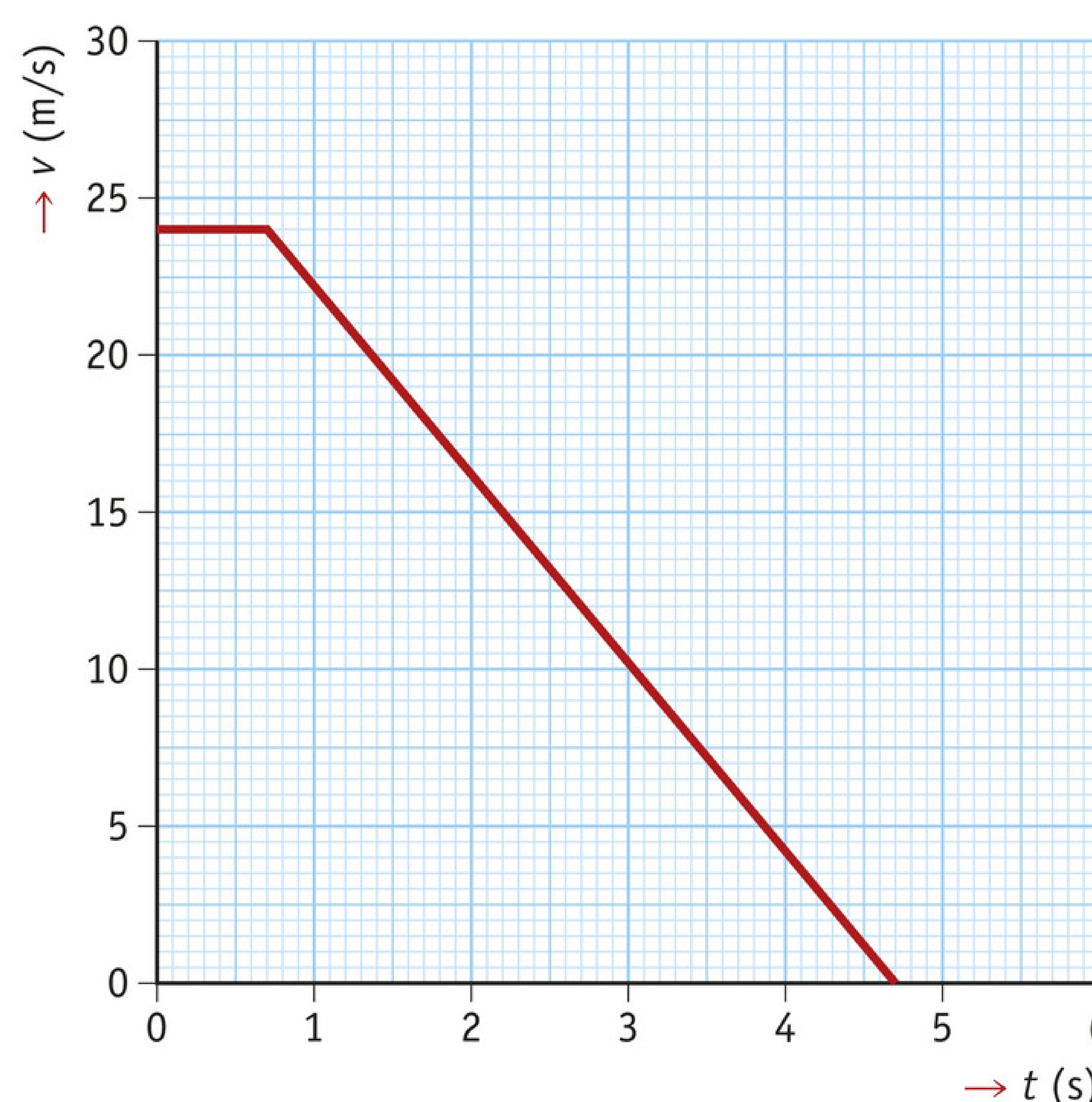
c De massa van de auto met bestuurder is 800 kg.
Bereken de benodigde remkracht.

d Bepaal de stopafstand.

Buschauffeur straft door te remmen: twee kinderen gewond

Enkhuizen – Een jongen en een meisje zijn gewond geraakt tijdens een busrit. Dit kwam, omdat de buschauffeur op de snelweg krachtig remde om de drukke leerlingen tot de orde te roepen. De twee slachtoffers kwamen ten val.
De chauffeur ergerde zich aan de leerlingen die over de banken liepen. Door krachtig remmen wilde hij ze laten schrikken. De jongen brak een arm en het meisje moest met nekklachten naar het ziekenhuis.

▲ **figuur 44**
de gevolgen van plotseling krachtig remmen



▶ **figuur 45**
Een automobilist stopt voor een haas.



▲ **figuur 46**
Tijdens een botsproef wordt een airbag getest.

***42** Bij een vertraging van meer dan 50 m/s² worden de airbags in een auto razendsnel opgeblazen. De veiligheidsgordels houden je op je plaats en de airbag vangt je lichaam op (figuur 46). De airbag geeft daarbij mee, net als een ballon waar je met een vinger in duwt.

a De airbag verkleint de kans dat de inzittenden bij een ongeluk gewond raken.
Geef hiervoor een natuurkundige verklaring en gebruik daarbij de term 'remtijd'.

b Geef nog een natuurkundige verklaring en gebruik daarbij de term 'druk'.

c Bij een test botst een auto met een snelheid van 20 km/h tegen een betonnen wand. Door de kreukelzone vertraagt de auto eenparig en staat hij na 0,10 s stil.
Ga met een berekening na of de airbag bij deze botsing zal worden opgeblazen.

d Toon aan dat de kreukelzone van de auto tijdens de botsproef 28 cm is ingedrukt. Tip: schets eerst het (v,t)-diagram van deze beweging.

e Hoe groot is de G-kracht op een mens bij een vertraging van 50 m/s²?

43 De Segway is een elektrisch aangedreven tweewieler (figuur 47). Uit tests blijkt dat de stopafstand bij een snelheid van 20 km/h tussen 4,6 en 6,5 m ligt.

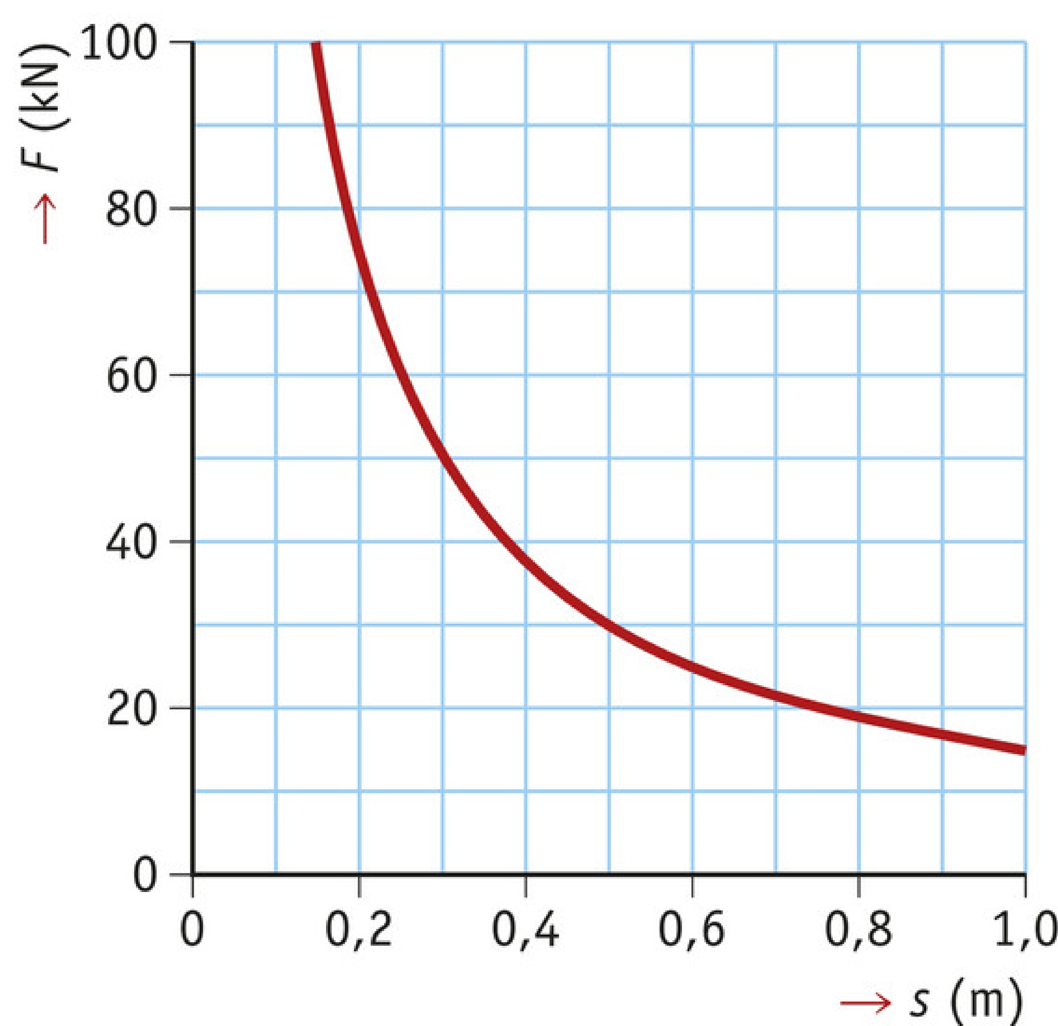
a Geef een oorzaak (zelf bedenken) waardoor de stopafstanden zo verschillend kunnen zijn.

b De remvertraging van een Segway is minimaal 4,0 m/s². Een bestuurder maakt een noodstop bij een snelheid van 20 km/h, de maximumsnelheid van een Segway.
Bereken de maximale remtijd.

c De handleiding bij de Segway adviseert om, ondanks de lage snelheid, toch een helm te dragen.
Geef twee redenen waarom je met zo'n helm minder kans hebt op ernstig letsel.



▶ **figuur 47**
rijden met een Segway



▲ **figuur 48**
het verband tussen de remweg bij een botsing en de kracht op de testpop

44 Tijdens een botsproef rijdt een testauto met 72 km/h tegen een betonnen muur. In de auto zit een pop van 75 kg in een veiligheidsgordel. In een serie tests verandert men steeds de afstand waarover de pop wordt afgeremd. Het resultaat van die tests zie je in figuur 48.

- **a** Bepaal de (gemiddelde) remkracht op de pop als de pop over een afstand van 60 cm wordt afgeremd.
- **b** Bereken de (gemiddelde) remvertraging.
- **c** Dat de pop tijdens de botsing een afstand van 60 cm aflegt, komt deels door de kreukelzone (50 cm) en deels door het uitrekken van de veiligheidsgordel (10 cm).
  Bepaal de gemiddelde kracht op de pop, als de veiligheidsgordel niet zou uitrekken.

45 Bij neerwaartse versnellingen kunnen G-krachten van 2 tot 3 *g* al gezondheidsschade veroorzaken.

- **a** De naam 'G-krachten' is, natuurkundig gezien, fout.
  Welke naam zou beter zijn?
- **b** Hoe groot zijn G-krachten van 2 tot 3 *g*, uitgedrukt in m/s^2?
- **c** Hoe komt het dat mensen neerwaartse versnellingen slechter kunnen verdragen dan opwaartse versnellingen? Tip: bedenk wat er dan met je bloed gebeurt.
- **d** Straaljagerpiloten dragen een drukpak dat de bloedvaten naar de benen dichtknijpt bij grote versnellingen.
  Bij welke richting van de versnelling zou dat zinvol zijn? Licht je antwoord toe.

***46** In een attractie in een pretpark ondergaan de inzittenden tijdens de start een versnelling van 3 *g*.

- **a** Bereken na hoeveel tijd hun snelheid is toegenomen tot 110 km/h.
- **b** Leg uit dat ook tijdens het passeren van een bocht flinke G-krachten kunnen optreden.

Plus Liftkracht en wrijvingskracht

47 De ontwerpers van een racewagen moeten bij het ontwerp van de spoilers altijd een afweging maken tussen de voor- en nadelen daarvan.

- **a** Welke voordelen heeft het gebruik van spoilers op een racewagen?
- **b** Welk nadeel hebben spoilers?
- **c** Hebben spoilers een positieve of een negatieve invloed bij de start?
  Licht je antwoord toe.
- **d** Waarom is het niet verstandig om alleen achter op een racewagen een spoiler te plaatsen?

***48** Een racewagen van 600 kg rijdt zonder spoilers een rondje op het circuit. De coureur heeft een massa van 75 kg. Uit metingen blijkt dat de maximale rolwrijving 4,63 kN is.

- **a** Bereken de coëfficiënt *f* die uit deze testrit volgt.
- **b** Als de spoilers (m = 30 kg) er wel op zitten, blijkt de maximale rolwrijving met 20% te zijn toegenomen. Neem aan dat *f* hetzelfde blijft.
  Bereken de neerwaartse kracht die de spoilers veroorzaken.

Practicum

**Je docent zal je vertellen van welke proeven je een verslag moet maken.
Zie vaardigheid 10 achter in je boek.**

Proef 1 De versnelling bepalen 30 min

Inleiding
De glijder van een luchtkussenbaan ondervindt (bijna) geen wrijvingskracht. Als je de baan een beetje schuin zet, beweegt de glijder met een constante versnelling naar beneden.

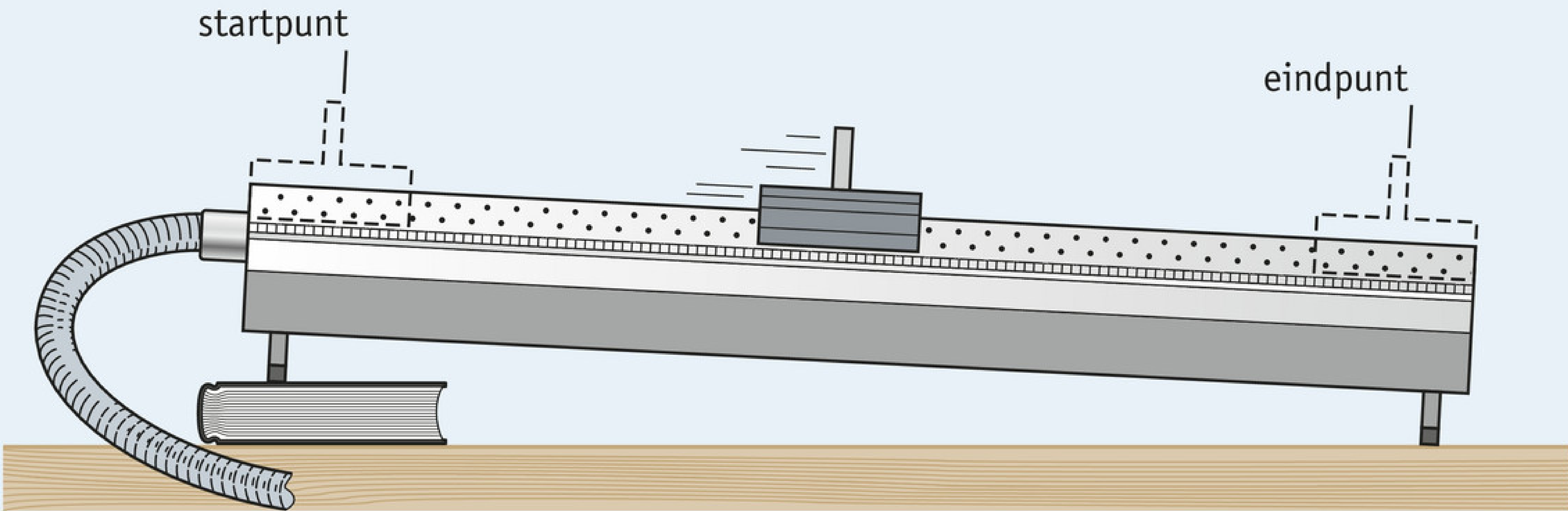
Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wordt de versnelling van de glijder 2× zo groot als je de helling 2× zo steil maakt?

Nodig
- luchtkussenbaan
- glijder
- stopwatch
- twee boeken
- meetlat

Uitvoeren en uitwerken
– Bouw de opstelling van figuur 49. Markeer het startpunt en het eindpunt van de beweging.
– Meet de afstand tussen het startpunt en het eindpunt.
– Meet het hoogteverschil. In figuur 49 is dat de dikte van het boek.

1 Neem tabel 3 en 4 over.
Noteer in tabel 4 het hoogteverschil en de gemeten afstand.

– Zet de glijder in de startpositie bij het beginpunt.
– Laat de glijder los en start tegelijkertijd de tijdmeting.



▲ **figuur 49**
de opstelling van proef 1

– Stop de tijdmeting als de glijder voorbij de eindmarkering glijdt.
– Voer deze meting vier keer uit en noteer het resultaat in tabel 3.

2 Bereken de gemiddelde tijd en noteer die in tabel 3 en in de derde kolom van tabel 4.

– Voer de volgende berekeningen uit en zet de resultaten in tabel 4.

3 Bereken de gemiddelde snelheid (v_{gem}) van de glijder.

▼ **tabel 3** de resultaten van de tijdmeting

	meting met een boek tijdsduur in (s)	meting met twee boeken tijdsduur in (s)
meting 1		
meting 2		
meting 3		
meting 4		
gemiddelde		

▼ **tabel 4** de resultaten van proef 1

hoogteverschil (m)	afstand (m)	gemiddelde tijd (s)	gemiddelde snelheid (m/s)	eindsnelheid (m/s)	versnelling (m/s²)

4 De eindsnelheid van de glijder is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid.
Bereken de eindsnelheid (v_e) van de glijder.
5 Bereken nu de versnelling van de glijder.

- Herhaal je metingen en berekeningen met een 2× zo groot hoogteverschil.

6 Leg uit waarom de tijdmeting onnauwkeurig wordt bij een erg groot hoogteverschil.
7 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 2 Luchtwrijving en snelheid 45 min

Inleiding
Een vallend voorwerp ondervindt luchtwrijving.
De luchtwrijving hangt af van de snelheid van het voorwerp.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe hangt de luchtwrijving af van de snelheid van een voorwerp?

Nodig
- grote ballon
- paperclips
- stopwatch
- meetlint
- nauwkeurige weegschaal
- plakband

Uitvoeren en uitwerken
Doe deze proef met z'n tweeën. Leerling 1 laat de ballon los en leerling 2 meet de tijd. Wissel regelmatig van rol.

- Maak op de muur met plakband een markering (minimaal 2 m boven de grond). Vanaf dat punt start je de tijdmeting.
- Meet de afstand tussen de markering en de grond (de valafstand).

1 Noteer deze afstand.

- Laat de ballon een flink stuk boven de markering los zodat die bij de markering met een constante snelheid beweegt.
- Meet de valtijd tussen de markering en de grond.
- Herhaal deze meting drie keer en noteer je meetresultaten.

2 Bereken de gemiddelde valtijd.
3 Neem tabel 5 over en noteer daarin de gemiddelde valtijd.

▼ **tabel 5** de resultaten van proef 2

aantal paperclips	gemiddelde valtijd (s)	valsnelheid (m/s)	zwaartekracht (mN)
0			
1			
enzovoort			

- Maak achtereenvolgens een, twee, drie, enzovoort, paperclips aan de ballon vast. Sla de meting met drie paperclips over.
- Bepaal steeds de bijbehorende (gemiddelde) valtijd.

4 Noteer de meetresultaten in de tabel.
5 Bereken bij elke valtijd de valsnelheid en noteer die in de tabel.

- Meet de massa van de ballon en van een paperclip.

6 Bereken bij elke valtijd de bijbehorende zwaartekracht in mN en noteer die in de tabel.
7 Leg uit waarom de wrijvingskracht op de ballon even groot is als de zwaartekracht.
8 Teken een grafiek waarin je de wrijvingskracht op de ballon uitzet tegen de snelheid.
9 Gebruik deze grafiek om de valtijd te voorspellen als je drie paperclips aan de ballon hangt.

- Controleer je voorspelling met een meting.

10 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 3 Versnelling en kracht 30 min

Inleiding
De glijder van een luchtkussenbaan zweeft op een kussen van lucht. Daardoor is de wrijving verwaarloosbaar klein.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de resultante op de glijder en de versnelling?

Nodig
- luchtkussenbaan
- glijder
- gewichtendrager
- gewichtjes
- katrol
- touw (2,5 m)
- stopwatch/lichtpoort met elektronische timer

Uitvoeren en uitwerken
– Bouw de opstelling van figuur 50.

Meting 1
– Je docent zal je vertellen hoeveel gewichtjes je op de gewichtendrager en op de glijder moet leggen.

1 Neem tabel 6 over. De massa is de gezamenlijke massa van de gewichtendrager en de gewichtjes die erop liggen. Noteer de massa bij meting 1 in kolom 2.

2 Bereken de voortstuwende kracht en noteer die in kolom 3.

– Markeer een begin- en een eindpunt op de rail. Meet de afstand ertussen en zet die in kolom 4.
– Meet de tijd die de glijder nodig heeft om van het begin- naar het eindpunt te bewegen.
– Herhaal deze meting nog twee keer.

3 Bereken de gemiddelde tijd en noteer die in de tabel.

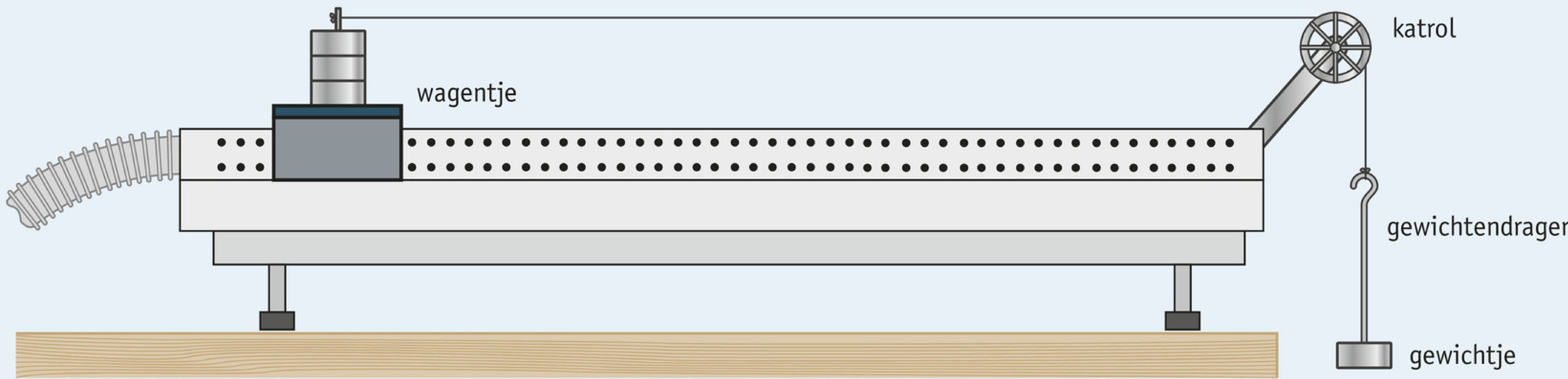
Meting 2
– Breng één gewichtje van de glijder naar de gewichtendrager. De totale massa verandert niet, maar de voortstuwende kracht wel.

4 Noteer de massa van de gewichtendrager met het gewichtje in de tabel en bereken de voortstuwende kracht.

– Meet weer de tijd die de glijder nodig heeft om van het begin- naar het eindpunt te bewegen.
– Herhaal deze meting nog twee keer.

5 Bepaal de gemiddelde tijd en noteer die in de tabel.

▼ **figuur 50**
de opstelling van proef 3



▼ **tabel 6** de resultaten van proef 3

1	2	3	4	5	6	7	8
meting	**massa (g)**	**kracht (N)**	**afstand (m)**	**gemiddelde tijd (s)**	**gemiddelde snelheid (m/s)**	**eindsnelheid (m/s)**	**versnelling (m/s²)**
1							
2							
3							

Meting 3

– Breng nog een gewichtje van de glijder naar de gewichtendrager en herhaal de proef.

Uitwerken

6 Bereken de gemiddelde snelheid bij elke meting en noteer die in de tabel.

7 De eindsnelheid is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid.
Bereken de eindsnelheid voor elke meting en noteer die in de tabel.

8 Bereken de versnelling bij elke meting en noteer die in de tabel.

9 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 4 Vertraging bij botsproeven 20 min

Inleiding

Ontwerpers van auto's laten botsproeven doen waarbij een auto met een grote snelheid tegen een betonnen muur wordt gereden. Van zulke proefbotsingen worden video's gemaakt. Daarop kun je precies zien wat er bij de botsing gebeurt.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Hoe bepaal je de gemiddelde vertraging tijdens een botsing?

Nodig

- video van een botsproef
- videosoftware
- computer

Uitvoeren en uitwerken

Meten

Bij dit onderzoek heb je videosoftware nodig die een filmpje beeld voor beeld kan afspelen. Een goed programma hiervoor is VideoLAN; door de toets 'E' herhaaldelijk in te drukken, speel je het filmpje beeld voor beeld af.

– Zoek op internet een filmpje van een botsproef met een bekende beginsnelheid.
– Download het filmpje.
– Bepaal het aantal beeldjes per seconde (framerate) van het filmpje. Raadpleeg eventueel de handleiding van de videosoftware of vraag het je docent.

1 Noteer de beginsnelheid van de auto en de framerate.

– Speel het filmpje beeld voor beeld af. Tel het aantal beeldjes van de eigenlijke botsing: vanaf het eerste contact met het obstakel tot het moment waarop de auto tot stilstand komt.

2 Noteer het aantal beelden waarin de botsing is vastgelegd.

Uitwerken

3 Bereken met de antwoorden op vraag 1 en 2 de botsingstijd van de auto.

4 Bereken de (gemiddelde) vertraging van de auto tijdens de botsing.

5 Hoe groot zou de resultante op een bestuurder van 80 kg zijn, als deze met dezelfde vertraging tot stilstand zou komen?

6 Bij botsproeven met hoge snelheid is deze methode vrij onnauwkeurig.
Leg uit waarom dat zo is.

7 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 5 Een onderzoek uitvoeren: de rolweerstand van een fiets 45 min

Inleiding
Stel je voor: in een tijdschrift voor amateurwielrenners beweert een sportwetenschapper: "Veel amateurrenners realiseren zich niet hoe belangrijk een juiste bandenspanning is. Met hard opgepompte banden ga je gewoon sneller: een paar bar extra kan de rolweerstand met wel 20% naar beneden brengen. Bij een tijdrit levert dat zomaar enige tientallen seconden tijdwinst op." Je vraagt je af of die wetenschapper wel gelijk heeft en besluit op onderzoek uit te gaan.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe hangt de rolweerstand van je fiets af van de druk in de fietsbanden?

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- Bespreek met elkaar welke risico's zich zouden kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je deze proef veilig kunt uitvoeren?
- De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan eventueel verbeteren.
- Voer vervolgens het onderzoek uit.

2 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Tips
- Bedenk eerst hoe je de invloed van de luchtwrijving op je metingen zo klein mogelijk kunt maken.
- Maak een grafiek waarin je de rolwrijving uitzet tegen de druk in de fietsbanden.

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: een veerautootje – 1 45 min

Inleiding
Je kent vast wel die speelgoedautootjes die je eerst achteruit moet trekken, zodat een veer in het autootje wordt gespannen. Als je het autootje loslaat, rijdt het een stukje vooruit.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de afstand u waarover het autootje wordt teruggetrokken en de afstand x die het daarna kan rijden?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 5.

Tips
- Trek het autootje een stukje naar achteren tot je weerstand voelt. Meet de afstand *u* vanaf dat punt.
- Herhaal je metingen.
- Je kunt het onderzoek uitbreiden door de ondergrond of de massa van het autootje te veranderen.
- Zie vaardigheid 1, 7, 8 en 10 achter in je boek.

Proef 7 Een onderzoek uitvoeren: een veerautootje – 2 45 min

Inleiding
Als je het autootje van proef 6 loslaat, trekt het eerst snel op en remt daarna af.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Is het optrekken van het autootje eenparig versneld? Is het afremmen eenparig vertraagd?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 5.

Tips
- Gebruik een computer met een afstandssensor of Coach met videometen. Vraag je docent of TOA hoe je dat moet doen.
- Zie vaardigheid 1 en 10 achter in je boek.

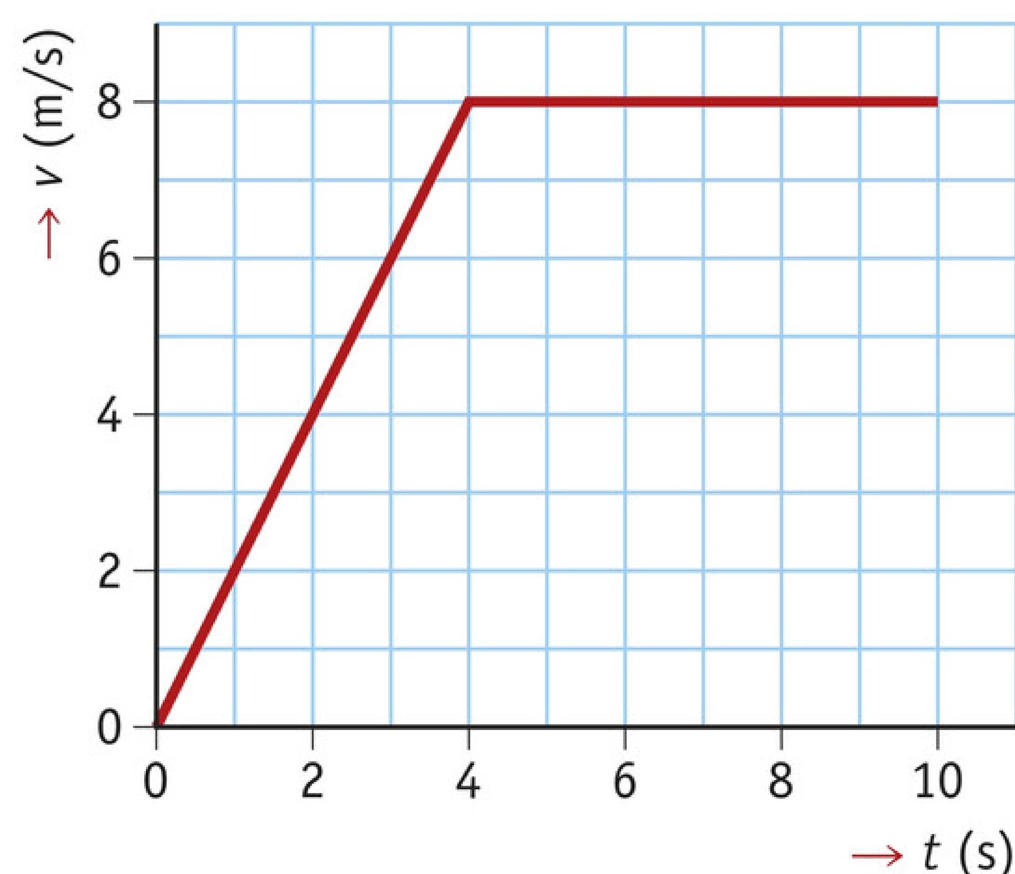
Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

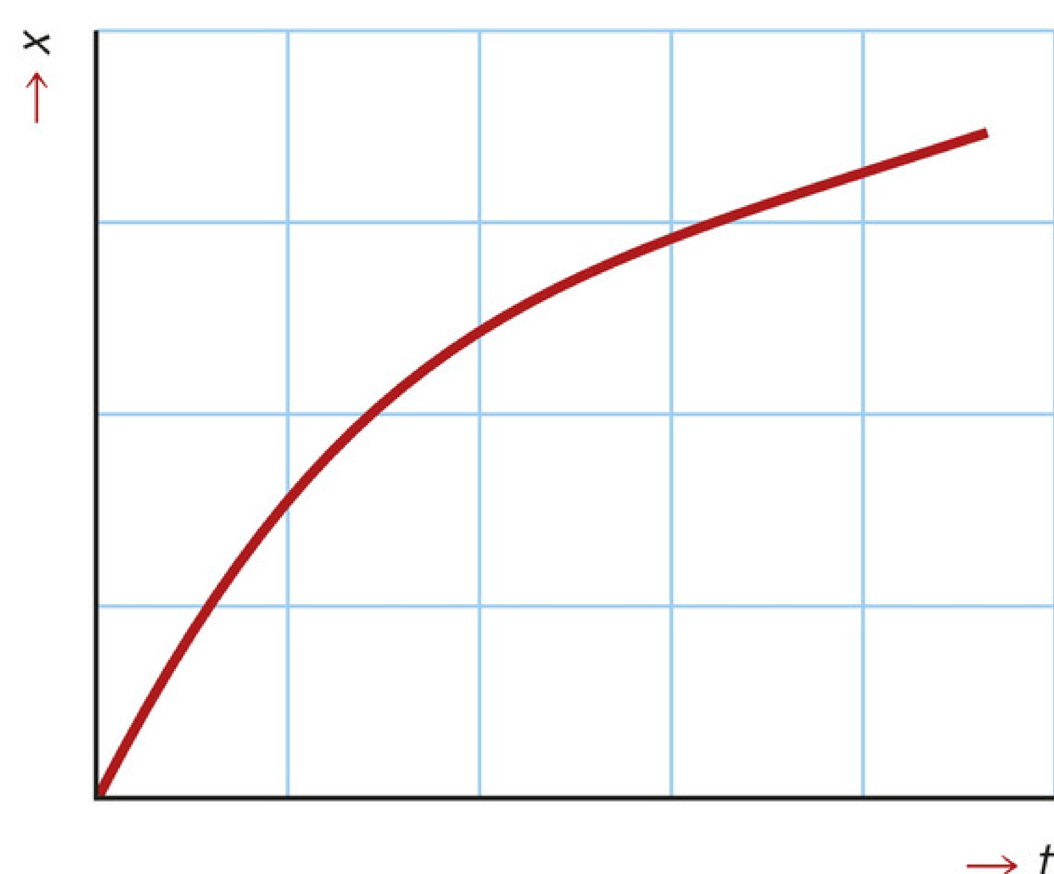
1 Een trein versnelt eenparig in 2,8 s van 72 naar 99 km/h.
Bereken de versnelling. Geef je antwoord met één cijfer achter de komma.

2 In figuur 51 zie je het (v,t)-diagram van Hassan op zijn fiets.
Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.

- **a** Tussen t = 0 s en t = 2 s heeft Hassan een gemiddelde snelheid van 2 m/s.
- **b** Tussen t = 0 s en t = 4 s is Hassans beweging eenparig versneld.
- **c** Tussen t = 4 s en t = 10 s is de versnelling constant: 8 m/s^2.
- **d** Na het tijdstip t = 4 s neemt de afgelegde afstand niet verder toe.
- **e** Het (x,t)-diagram van deze beweging ziet er ongeveer uit als in figuur 52.



▲ figuur 51



▲ figuur 52

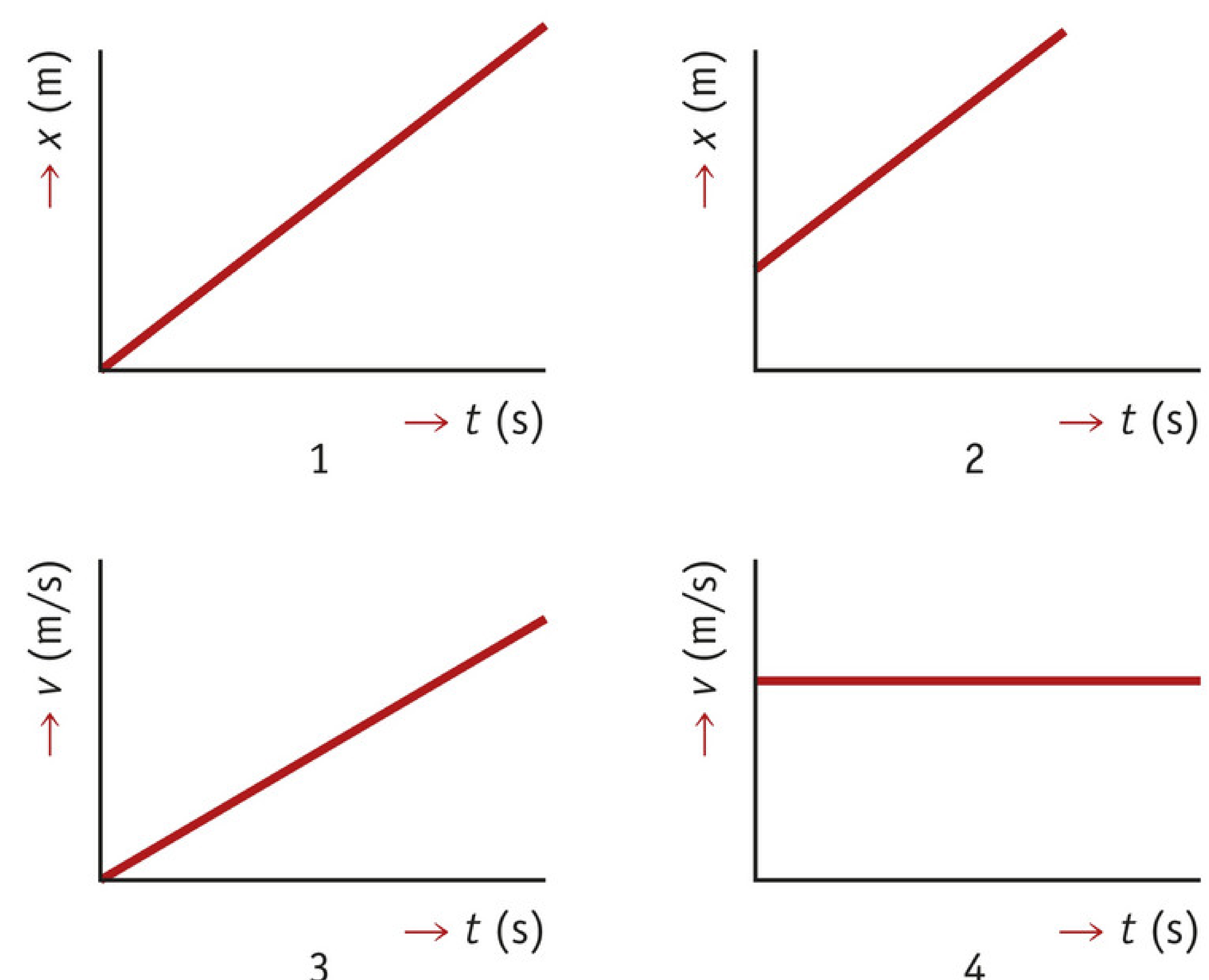
3 Vervolg van vraag 2.
Bereken de afstand die Hassan tussen t = 0 s en t = 10 s aflegt.

4 Een motorrijder trekt op uit stilstand. De motor beweegt gedurende 2,5 s eenparig versneld met een versnelling van 6,2 m/s^2.
Bereken de snelheid van de motor in km/h na die 2,5 s.

5 Een auto versnelt van 90 naar 120 km/h. De bestuurder houdt het gaspedaal steeds in dezelfde stand.
Ahmed zegt: "Tijdens het versnellen is de voortstuwende kracht groter dan alle tegenwerkende krachten samen."
Stella zegt: "Tijdens het versnellen wordt de resultante steeds groter."
Wie heeft er gelijk?

A Ahmed en Stella hebben allebei gelijk.
B Ahmed heeft gelijk, maar Stella niet.
C Stella heeft gelijk, maar Ahmed niet.
D Ahmed en Stella hebben allebei ongelijk.

6 In figuur 53 zijn twee (x,t)-diagrammen en twee (v,t)-diagrammen getekend van een fietser.
Voor welke diagrammen geldt F_{res} = 0?



▲ figuur 53

7 Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.

a Op een rijdende auto werken altijd tegenwerkende krachten.

b De topsnelheid van een raceauto is op een circuit hoog in de bergen groter dan op zeeniveau.

c Raceauto's hebben een gestroomlijnde vorm, omdat daardoor de rolwrijving veel kleiner wordt.

d Als een auto met constante snelheid achteruitrijdt, is de resultante ook naar achteren gericht.

8 Als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting van een auto staat:

a verandert de grootte van de snelheid van de auto *wel* / *niet*.

b verandert de rijrichting van de auto *wel* / *niet*.

c verandert de luchtwrijving op de auto *wel* / *niet*.

d verandert de rolwrijving op de auto *wel* / *niet*.

e verandert de C_w waarde van de auto *wel* / *niet*.

9 Op een voorwerp van 1,0 g werkt een resultante van 1,0 N.
Het voorwerp beweegt onder invloed van die resultante:

A met een snelheid van 1,0 m/s.
B met een snelheid van $1{,}0 \cdot 10^3$ m/s.
C met een snelheid van 0,001 m/s.
D met een versnelling van 1,0 m/s^2.
E met een versnelling van $1{,}0 \cdot 10^3$ m/s^2.
F met een versnelling van 0,001 m/s^2.

10 In een verticale glazen buis waaruit alle lucht is gepompt, laat je een houten en een metalen knikker vallen van dezelfde hoogte. De knikkers zijn even groot.

a Is de zwaartekracht op de knikkers even groot?

b Zijn de knikkers in vrije val?

c Is de luchtwrijving op de knikkers even groot?

d Is de versnelling van de knikkers even groot?

e Zijn de knikkers op hetzelfde moment beneden?

11 Harmen kon geen plekje vinden in een overvolle bus. Nu staat hij in het middenpad (figuur 54).
Geef bij elk plaatje aan of:

a de bus een scherpe bocht maakt.

b de bus met een constante snelheid rijdt.

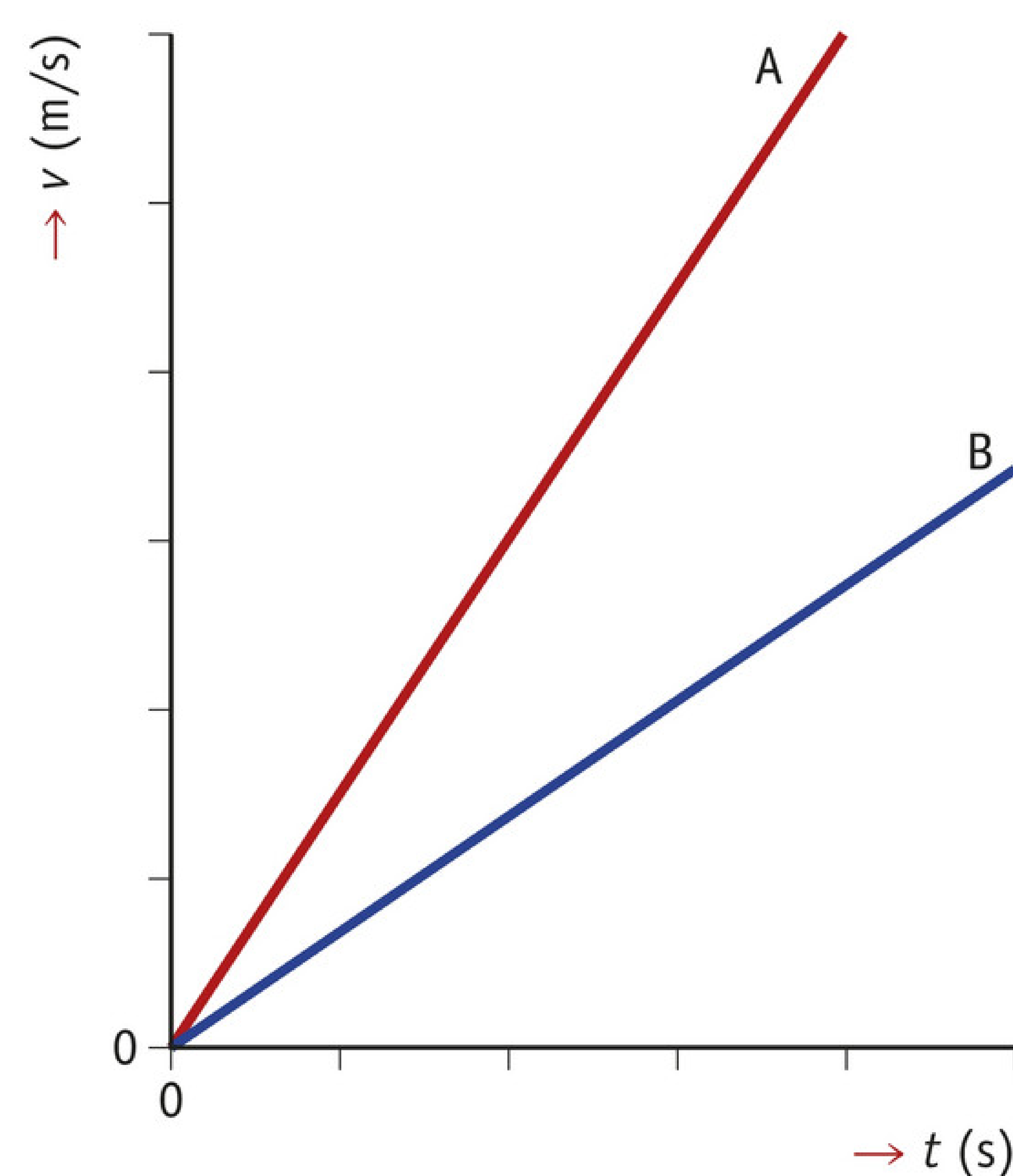
c de bus plotseling begint te rijden.

d de bus plotseling afremt.



▲ figuur 54

12 In figuur 55 zie je het (v,t)-diagram van twee optrekkende auto's (A en B). Tijdens het optrekken was de resultante op beide voertuigen even groot. Welke auto had de grootste massa?



▲ figuur 55

13 Jasmijn trekt met een kracht van 90 N een bolderkar over een horizontale ondergrond (figuur 56). De hoek tussen de trekstang en het pad is 32°. De kar heeft een constante snelheid.
Bereken de totale wrijvingskracht op de kar. Geef je antwoord in een geheel aantal newton.



▲ figuur 56

14 Een automobilist remt af voor een scherpe bocht. Op de auto van 1200 kg (inclusief bestuurder) werkt daarbij een remkracht van 3,6 kN.
Bereken de vertraging.

15 Een auto rijdt met een snelheid van 72 km/h. De bestuurder ziet een kind de weg oprennen op t = 0 s. Een halve seconde later trapt hij het rempedaal in. In de volgende vijf seconden komt de auto tot stilstand.
Bereken de afstand die de auto vanaf t = 0 s nog aflegt.

16 Bij een botsproef met een auto komt een testpop (70 kg) in 0,07 s tot stilstand. De snelheid van de auto is 9,5 m/s. De testpop is vastgemaakt met een gordel die niet uitrekt.
Bereken de gemiddelde remkracht op de testpop in kN.

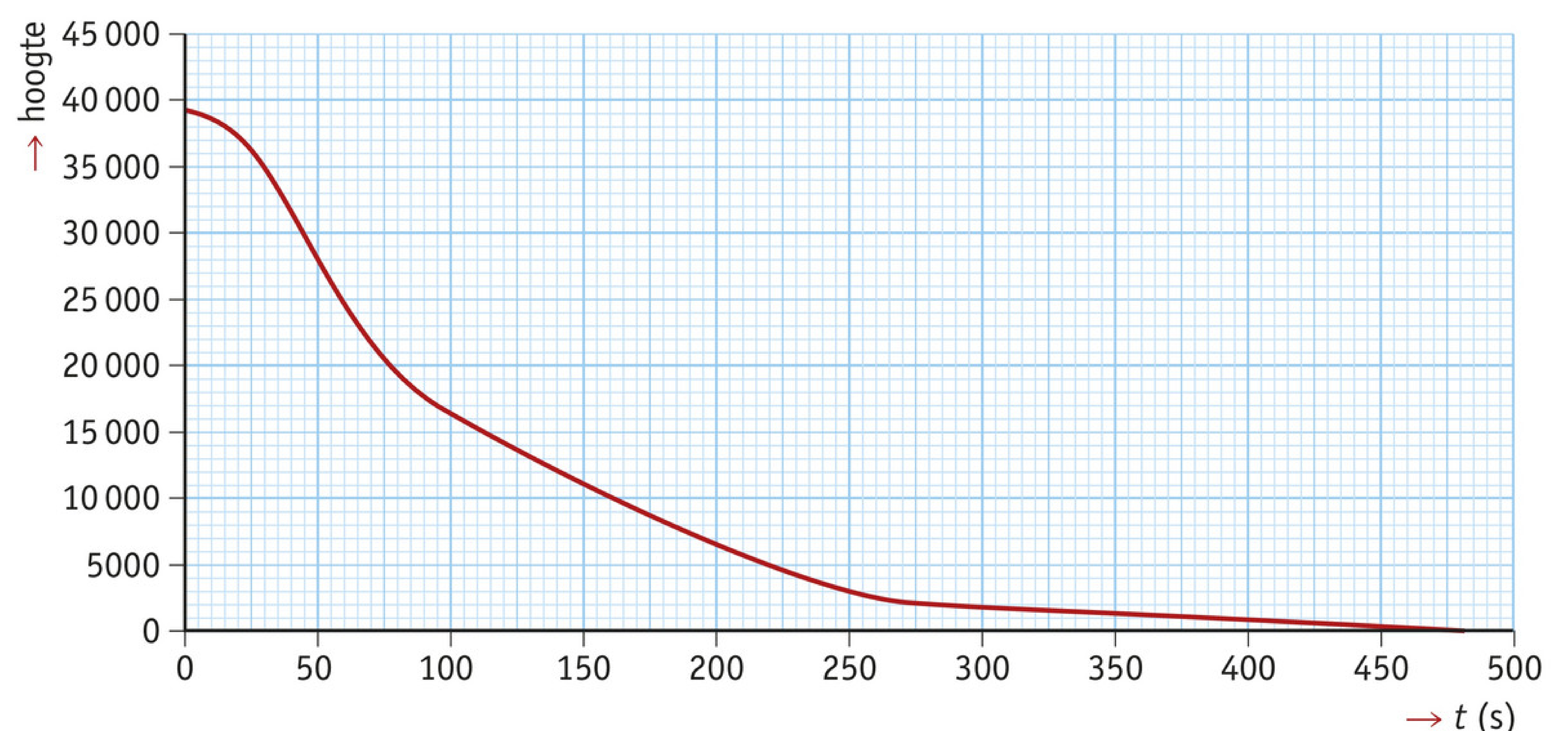
17 De bestuurder van een auto wordt tijdens een aanrijding afgeremd door een kracht van 8,8 kN. De druk op zijn lichaam is daarbij 490 kPa.
Bereken het contactoppervlak tussen de gordel en zijn lichaam in cm^2.

18 Een straaljager landt met een snelheid van 243 km/h op een vliegdekschip. De massa van de straaljager is $12 \cdot 10^3$ kg. De (gemiddelde) kracht waardoor de straaljager wordt afgeremd, is 180 kN.

- **a** Bereken hoelang het afremmen heeft geduurd. Laat je berekening zien.
- **b** Schets het (v,t)-diagram van de straaljager vanaf het moment dat hij wordt afgeremd als je mag aannemen dat de vertraging eenparig was.
- **c** Bepaal de remafstand van de straaljager.
- **d** Leg uit hoe je kunt berekenen hoe groot de G-kracht is op de piloot tijdens het afremmen.

19 In 2012 deed Felix Baumgartner een poging om als eerste mens te vallen met een snelheid die groter is dan de geluidssnelheid. Hij ging omhoog in een heliumballon. Op grote hoogte stapte hij uit de ballon en liet zich vallen. Zestig seconden later ging hij inderdaad sneller dan het geluid. Enkele minuten later deed hij zijn parachute open. In figuur 57 zie je een (v,t)-diagram van zijn sprong.

- **a** Was Baumgartner op t = 60 s nog aan het versnellen? Leg uit hoe je dat kunt zien.
- **b** Verklaar dat Baumgartner in het eerste deel van zijn sprong in vrije val was.
- **c** Rond welk tijdstip ging de parachute van Baumgartner open? Leg uit hoe je dat weet.
- **d** Verklaar dat Baumgartner met constante snelheid aankwam op de aarde.



▶ figuur 57

20 Lees de tekst in figuur 58.

- **a** Leg uit hoe het komt dat men hier kilo gebruikt als eenheid van kracht.
- **b** Leg uit waardoor de snelheid van het slaghout nauwelijks afneemt, als het de bal raakt.
- **c** Laat met een berekening zien of de in de tekst vermelde kracht 'van een paar duizend kilo' bij een homerun wordt bereikt. De massa van een honkbal is 0,145 kg.

21 Bij een onderzoek gaat men na hoe de remkracht afhangt van de ondergrond. Bij de start rijdt de auto, voordat er geremd wordt, steeds 72 km/h. Welke grootheden moeten de onderzoekers, behalve die snelheid, nog meer weten om de remkracht op de auto te kunnen berekenen?



Een honkslag voltrekt zich binnen een duizendste van een seconde en daarbij gaat het om krachten van een paar duizend kilo. Om een homerun te slaan (waarbij de bal uit het stadion vliegt), moet een bal het slaghout verlaten met een snelheid van 170 km/h!

▲ figuur 58

Wachten voor een rood verkeerslicht. Rijden ... stilstaan ... rijden ... en weer stilstaan voor het volgende rode licht. Voor veel automobilisten is het rijden in een drukke stad een dagelijks terugkerende ergernis. "Als het een beetje tegenzit, sta je meer stil dan je rijdt!" mopperen ze. Voor verkeersmanagers is onze irritatie juist een uitdaging: hoe kunnen we het verkeer beter laten doorstromen zonder dat de veiligheid achteruitgaat?

Werken als verkeersmanager



In een dichtbevolkt land zoals Nederland kan het verkeer gemakkelijk vastlopen. Vooral in de spits is de verkeersdruk enorm groot. Knelpunten in het wegennet leiden onvermijdelijk tot veel vertraging. Het is het werk van verkeersmanagers om daar slimme oplossingen voor te bedenken. Hoe efficiënter het verkeer wordt afgewikkeld, des te minder hoeven de mensen te wachten.
Een weg of een kruispunt anders inrichten heeft tijdens de verbouwing veel impact. Er zijn duizenden verkeersdeelnemers bij betrokken en bijna allemaal hebben ze er een mening over. Maar over de mensen die de plannen ontwikkelen, hoor je bijna nooit iets. Reden genoeg om eens met zo'n plannenmaker te gaan praten. Verkeersmanager Aymee Prinsen (26) vertelt ons over haar werk.

Hoe word je verkeersmanager?

Ik heb verkeer altijd interessant gevonden. Al die mensen die zich elke dag opnieuw verplaatsen: hoe kun je dat nou zo goed mogelijk regelen? Na het vwo heb ik de hbo-opleiding *Built Environment* gedaan. Omdat ik vooral in de techniek geïnteresseerd ben, heb ik daar de specialisatie 'verkeersmanager' gekozen. Je leert hoe je een veilige weg ontwerpt, kruispunten inricht en het verkeer in een stad in goede banen leidt. Meestal werk je met een groepje studenten aan projecten. Dat is dan een opdracht van een externe opdrachtgever, bijvoorbeeld van een gemeente die de verkeersveiligheid op een kruispunt wil verbeteren.

Wat houdt je werk zoal in?

Na het hbo ben ik gaan werken als adviseur bij een middelgroot adviesbureau. Er werken ongeveer twintig mensen, van wie vijf in de verkeerstechniek. Daar ben ik bezig met projecten zoals het inrichten van ingewikkelde kruispunten met verkeerslichten. Zo'n project begint ermee dat ik met de opdrachtgever ga praten. Dan ga ik een ontwerp maken van een systeem met verkeerslichten en reken ik bij elk verkeerslicht uit hoelang dat op groen en rood moet staan. Daarbij hou ik bijvoorbeeld rekening met de hoeveelheid tijd die het verkeer nodig heeft om het conflictvlak – zo noem je het gebied waar de verkeersstromen elkaar kruisen – leeg te maken.
Als het ontwerp af is, moet ik het omzetten in een computerprogramma dat de verkeerslichten aan- en uitzet. Ik maak zo'n programma in Visual C, een computertaal, en test het met behulp van verkeerssimulatieprogramma's.

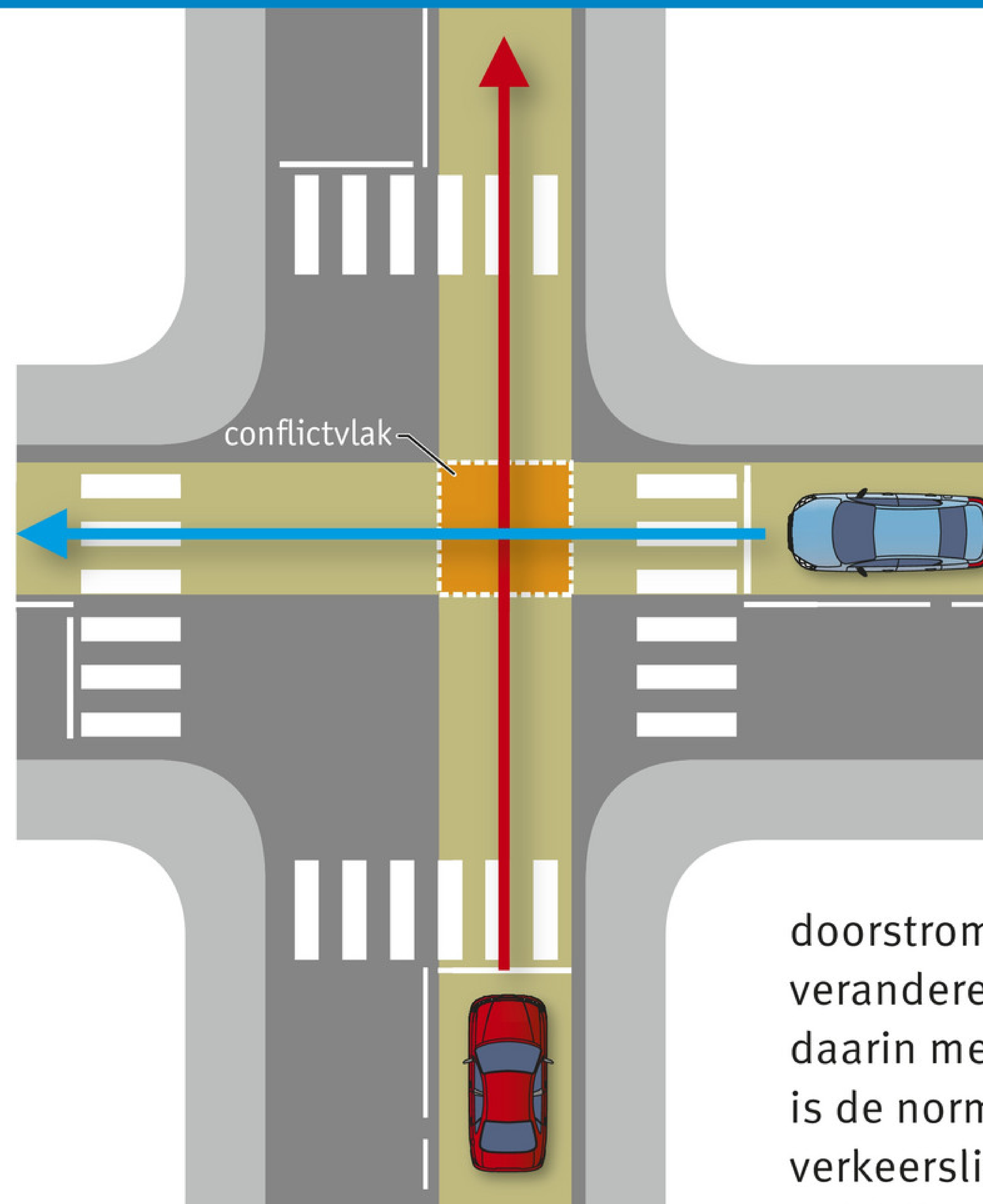
Tijdens de installatie van de verkeerslichten houd ik toezicht namens de gemeente, om te zien of de plannen juist worden



naam	**Aymee Prinsen**
leeftijd	**26 jaar**
opleiding	**vwo profiel N+T**
	hbo Built Environment: profiel verkeersmanager
functie	**adviseur verkeersmanagement**
plannen	**over tien jaar een eigen adviesbureau beginnen**

WEETJE

In 2014 deed de Grontmij samen met Rijkswaterstaat een onderzoek naar de effectiviteit van intergroen. De studie liet zien dat het aantal voertuigverliesuren op kruispunten door intergroen met gemiddeld 3,6% wordt teruggebracht. Dat zou voor heel Nederland een besparing van 4,9 miljoen voertuigverliesuren per jaar opleveren.



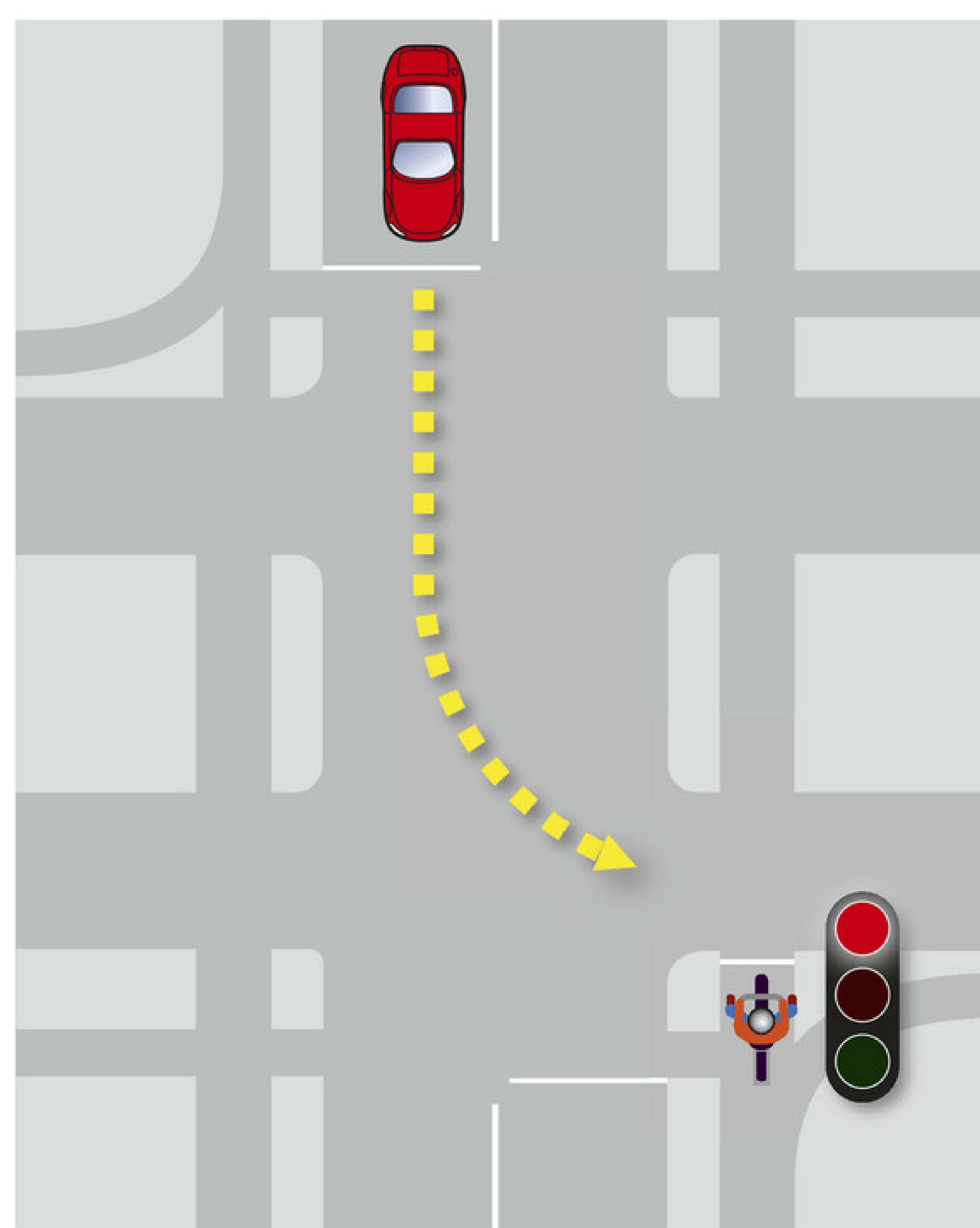
uitgevoerd. Als alles er staat en de programma's zijn geïnstalleerd, wordt het systeem nog één keer getest. En dan komt ten slotte de opening. Dat is altijd spannend, want je wilt natuurlijk niet dat er dan nog iets fout gaat.

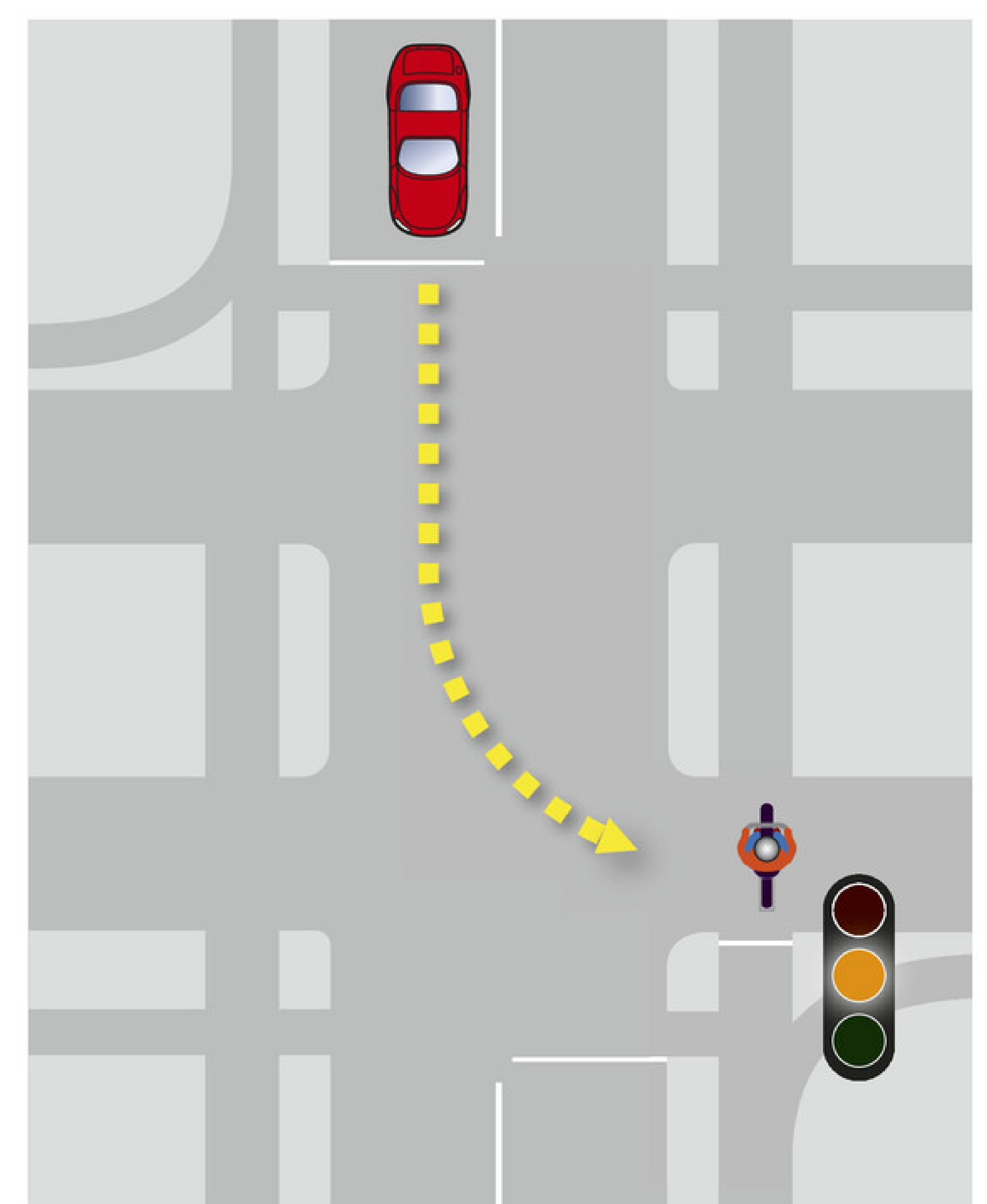
Welke rol speelt natuurkunde in jouw vakgebied?

Als een verkeerslicht op oranje springt, duurt het even voordat het conflictvlak leeg is en het verkeer uit een andere richting kan gaan oprijden. Je noemt dat de ontruimingstijd. Bij een kruispunt moet je de ontruimingstijd voor elk soort verkeersdeelnemer apart berekenen. Die tijd is voor een fietser anders dan voor een voetganger. Je berekent de ontruimingstijd met de bekende formules uit de natuurkunde over de versnelling, de snelheid en de afgelegde weg. Vaak gebruik ik een computer om dingen uit te rekenen, maar ik maak ook wel berekeningen op een stuk papier, met een rekenmachine. Dat is ook een manier om mezelf gerust te stellen, dat alles klopt.
Op school mag je weleens een fout maken in een berekening, maar in de verkeerstechniek mag dat niet. Als je een verkeerslicht te snel op groen laat springen, kan dat zomaar tot een verkeersongeluk leiden. Gelukkig vind je een fout meestal wel bij het testen, maar er blijft altijd een risico. Bovendien kan het herstellen van een fout in de software veel tijd en geld kosten.

Zit er genoeg uitdaging in je werk?

O ja, absoluut. Net zoals elk bedrijf moeten ook wij voortdurend innoveren. De ideeën over doorstroming en veiligheid veranderen steeds en wij moeten daarin mee. Een leuk voorbeeld is de norm voor groen licht bij verkeerslichten. Ik heb in mijn opleiding bijvoorbeeld geleerd dat je nooit twee richtingen tegelijk groen licht mag geven: als de ene richting groen heeft, moet de kruisende richting rood krijgen. Eigenlijk wist iedereen toen al dat die norm te streng is. Soms duurt het oprijden (van de stopstreep naar het conflictvlak) erg lang, terwijl het afrijden juist snel gaat. De ontruimingstijd is dan negatief: het conflictvlak is eerder leeg dan nodig is. Er is nu een gloednieuwe aanpak, intergroen, die deze extra tijd benut. Daarbij springen de


Onnodig wachten...


of doorrijden met intergroen

lichten voor richting A al op groen, terwijl de lichten voor richting B nog even op groen blijven staan.

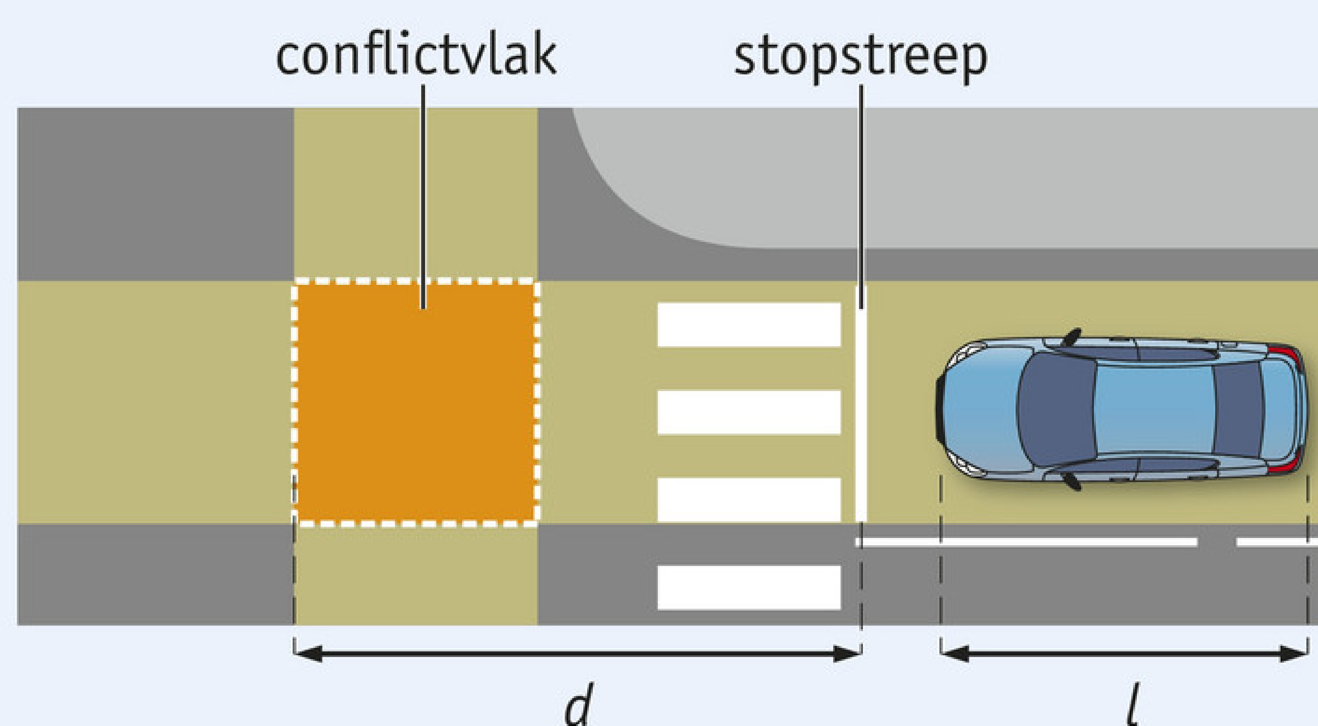
Intergroen scheelt per cyclus maar een paar seconden, maar over de hele dag gerekend tikt het lekker aan. Waarschijnlijk is intergroen ook goed voor de verkeersveiligheid, omdat er minder door rood wordt gereden. Daar wordt nu nog onderzoek naar gedaan. Hoe dan ook, als intergroen straks in heel Nederland mag worden toegepast, moeten wij daar als bureau klaar voor zijn. Want elke seconde die wij veilig van de wachttijd af kunnen halen, is winst.

Opgaven

1 Als een verkeerslicht op rood springt, duurt het nog even voordat de laatste auto het conflictvlak heeft verlaten. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de afrijtijd t_{af} genoemd. De afrijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{af} = \frac{d + l}{v_{af}}$$

a Leg met de tekening hieronder uit wat de letters d en l betekenen.
b Leg uit waarom het noodzakelijk is om de l in de formule op te nemen.
c Hoe groot is de l voor een auto? En voor een bus? Maak een schatting.

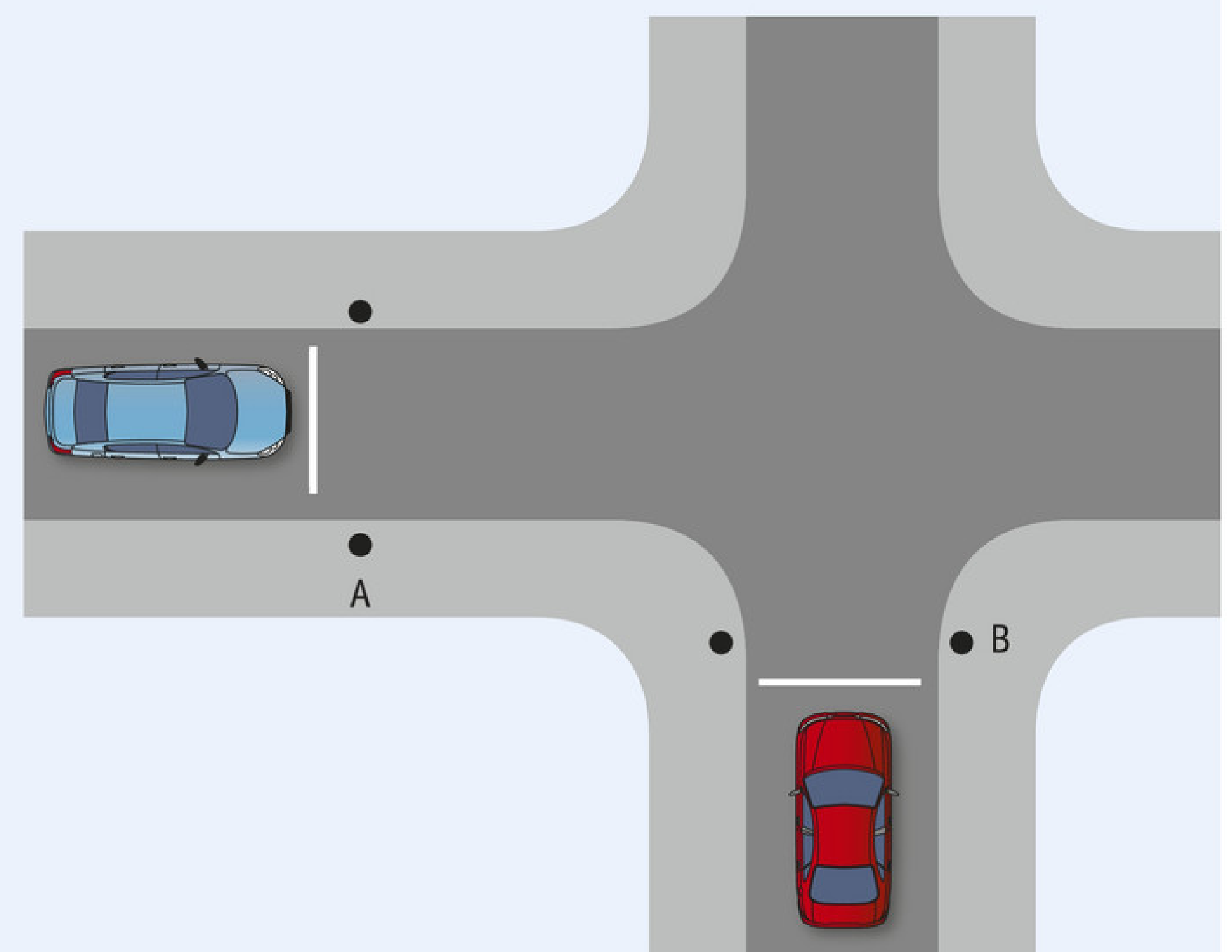


2 Als een verkeerslicht op groen springt, duurt het nog even voordat de eerste auto het conflictvlak oprijdt. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de oprijtijd t_{op} genoemd. De oprijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{op} = \frac{k}{v_{op}} + \text{reactietijd}$$

a Maak een tekening van de situatie en geef daarin aan hoe je k moet meten.
b Leg uit waarom l niet voorkomt in deze formule, en wel in die voor de afrijtijd.
c De formule gaat uit van een constante oprijsnelheid. In werkelijkheid is dat niet het geval. Wordt de oprijtijd daardoor langer of korter?
d In Duitsland springt het licht eerst even op oranje voordat het groen wordt. Leg uit hoe de oprijtijd daardoor verandert.

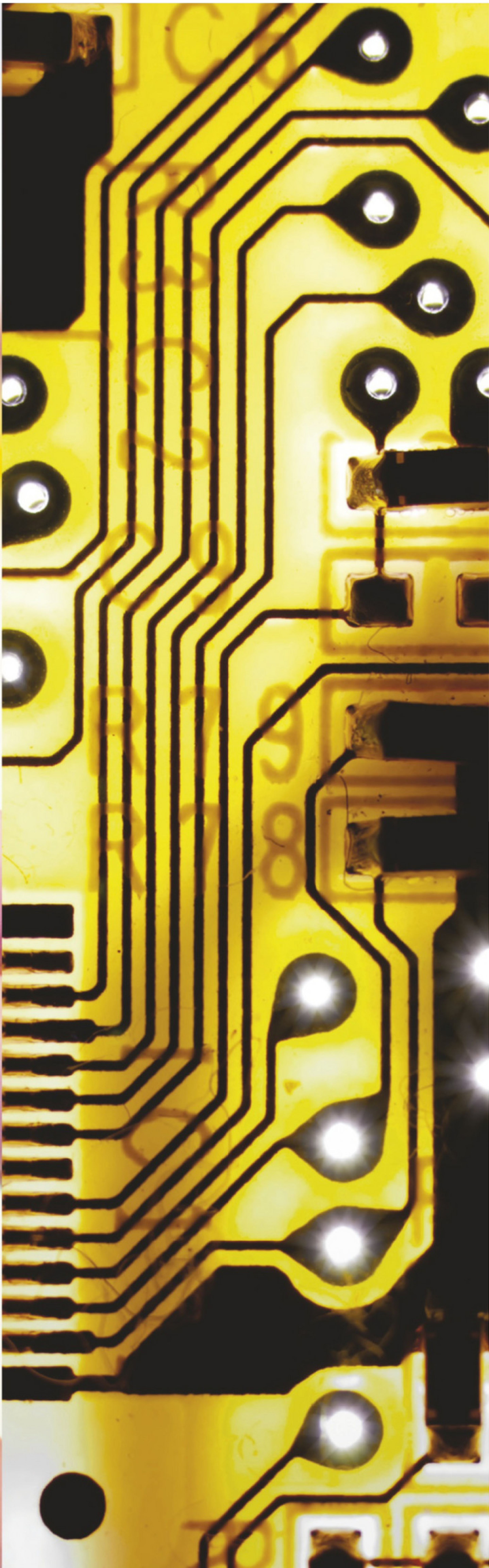
3 In de figuur hieronder zie je twee wegen voor eenrichtingsverkeer. De afstanden van de stopstreep tot het conflictvlak zijn niet even groot. Het licht springt bij B op rood, op hetzelfde moment dat het licht bij A op groen springt.
a Leg uit waarom het conflictvlak dan onnodig lang leeg is.
b In het artikel staat dat de ontruimingstijd t_{ontr} dan negatief is. Stel een formule op voor t_{ontr}.
c Leg uit waarom er een botsgevaar ontstaat als het licht bij B op groen springt tegelijk met het rood worden bij A.



4 Een verkeerslichteninstallatie wordt omgebouwd naar intergroen. Leg uit waarom fietsers dan extra moeten worden gewaarschuwd voor het rijden door rood.

5 Zoek op internet informatie over intergroen. Schrijf een korte tekst waarin je vertelt wat intergroen inhoudt en wat de voor- en nadelen zijn.


3
6
9
#



6 Schakelingen

Automatisch regelen

In veel apparaten zit een elektrische schakeling die een grootheid uit de omgeving meet en daarop reageert. Dat geldt bijvoorbeeld voor de thermostaat van de centrale verwarming, een inbraakalarm of een automatische buitenlamp. Daardoor kan het apparaat zelfstandig zijn taak uitvoeren.

1 Lading en spanning



▲ figuur 1
Polystyreen balletjes worden aangetrokken door een kam die door wrijving geladen is.

Als je op een droge winterdag een fleece trui uittrekt, hoor je een zacht geknetter. In het donker kun je zelfs vonkjes zien overspringen. Die vonkjes zijn kleine en ongevaarlijke ontladingen van statische elektriciteit.

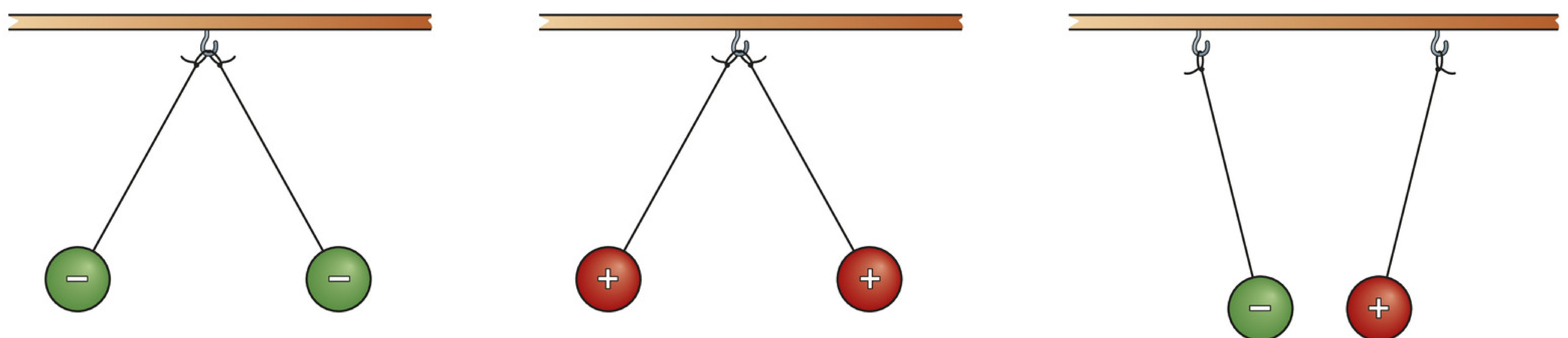
Voorwerpen opladen

Als je een pvc-buis wrijft met een wollen doek, wordt hij **elektrisch geladen** of **statisch**. Dat merk je doordat het voorwerp andere voorwerpen aantrekt (figuur 1) of doordat er vonkjes overspringen naar andere voorwerpen. Als er waterdamp in de lucht zit, verliest een geladen voorwerp zijn lading meestal snel. Daarom kun je proeven met geladen voorwerpen het best doen als de lucht erg droog is.

Positieve en negatieve lading Proef 1

Ook als je een staaf perspex of een pvc-buis wrijft met een wollen doek worden die elektrisch geladen. Bij verder experimenteren blijkt dat twee geladen perspex staven elkaar afstoten en dat geldt ook voor twee geladen pvc-buizen. Maar een geladen perspex staaf en een geladen pvc-buis trekken elkaar juist aan. Dat komt doordat er twee soorten **lading** bestaan. De ene soort lading noem je **positief** of plus, de andere soort noem je **negatief** of min. Plus en plus stoten elkaar af, net als min en min, maar plus en min trekken elkaar aan (figuur 2).

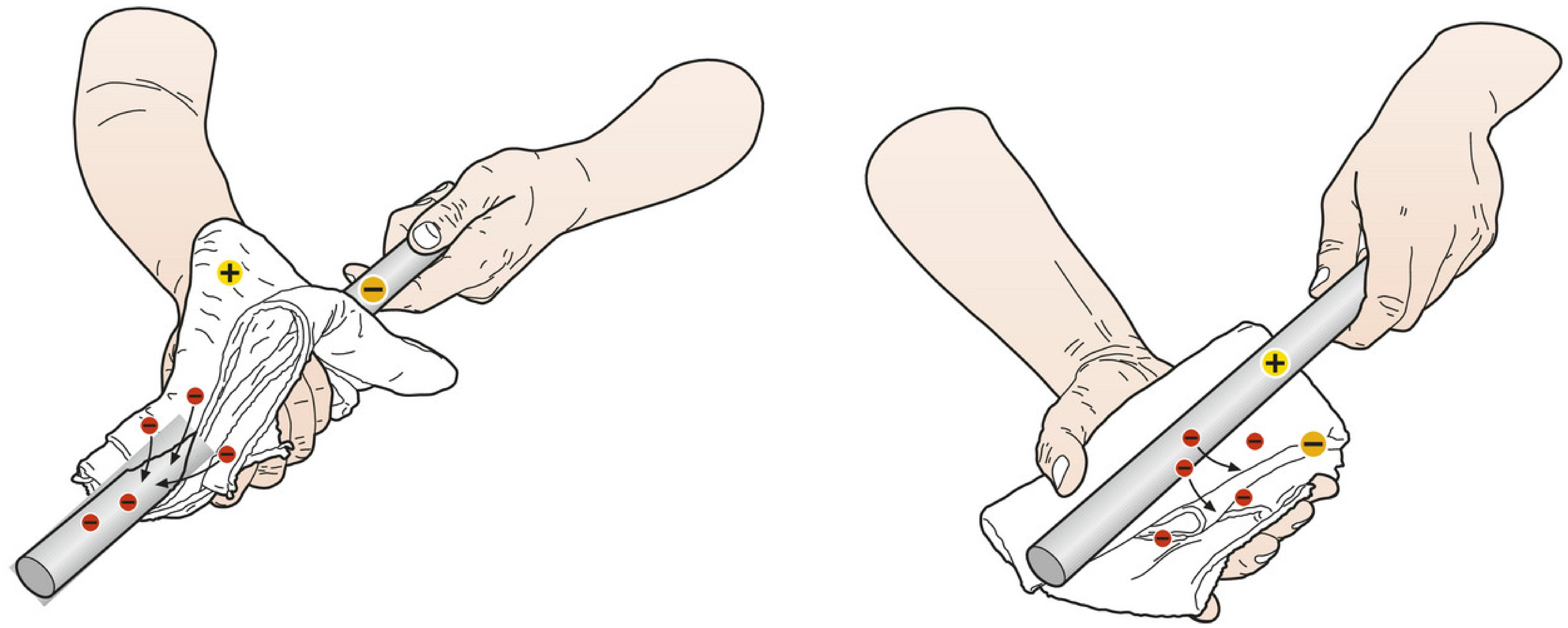
▼ figuur 2
Geladen voorwerpen trekken elkaar aan of stoten elkaar af.



Elektronen

Een atoom bestaat uit een positief geladen kern met daaromheen draaiende, negatief geladen **elektronen**. De lading van de kern is even groot als die van alle elektronen samen. Het atoom is dus neutraal.

Een **neutraal** voorwerp bevat precies evenveel positieve als negatieve lading. Daardoor merk je niet dat zo'n voorwerp lading bevat. Als je zo'n voorwerp met een doek wrijft, kunnen elektronen 'overspringen' van de doek naar het voorwerp of omgekeerd (figuur 3).

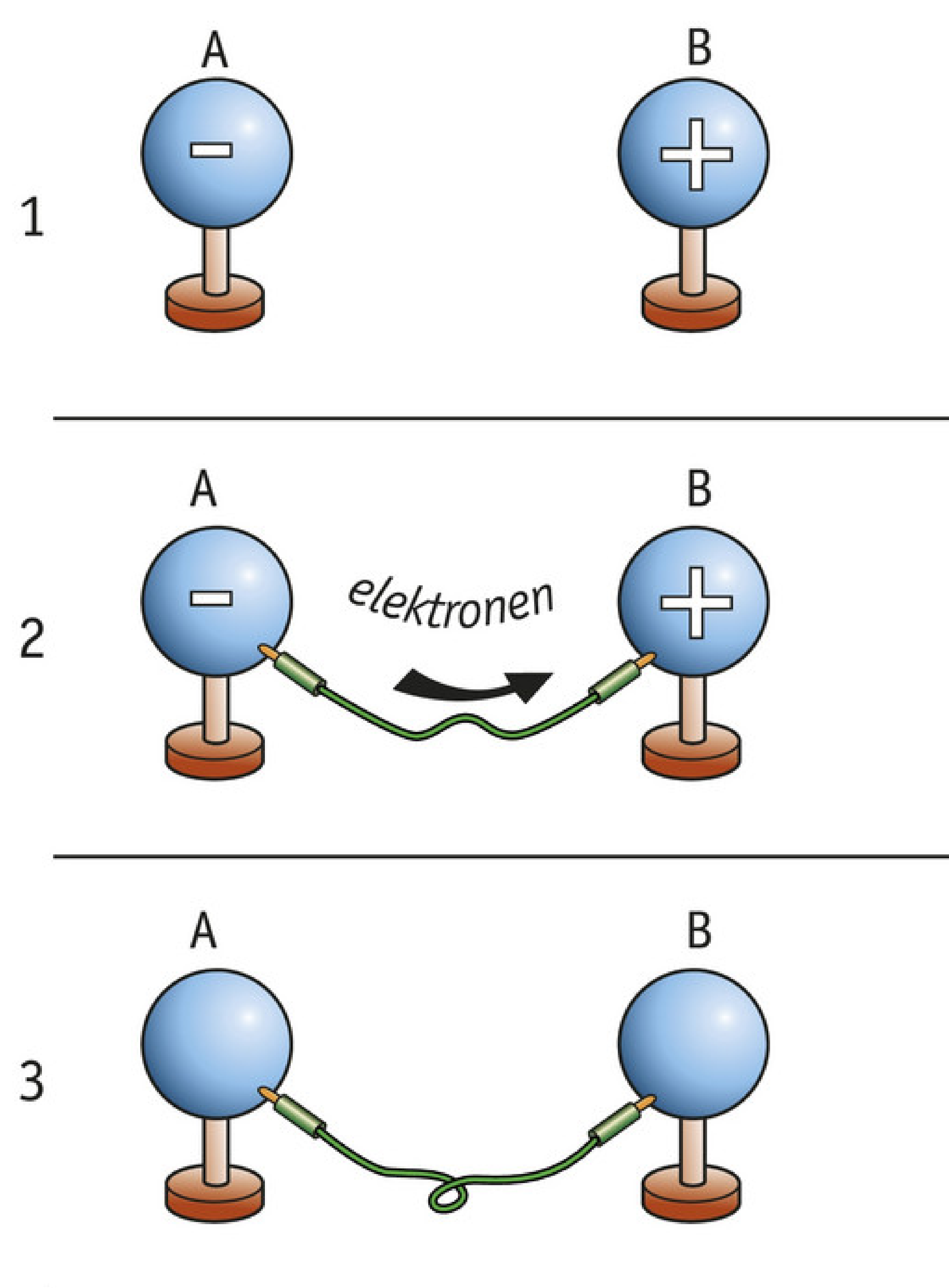


▲ **figuur 3**
Bij wrijven kunnen de elektronen overspringen.

Er zijn nu twee mogelijkheden:
- De elektronen gaan van de doek naar het voorwerp. Het voorwerp heeft dan te veel elektronen en wordt daardoor negatief. De doek is elektronen kwijtgeraakt en heeft daardoor een even grote, positieve lading.
- De elektronen gaan van het voorwerp naar de doek. Dan gebeurt het omgekeerde. Het voorwerp is elektronen kwijtgeraakt en wordt positief. De doek heeft te veel elektronen en wordt negatief.

Lading en stroomsterkte

Lading (symbool Q) kun je meten en dus is het een grootheid. De eenheid van lading is de **coulomb**, genoemd naar de Franse onderzoeker Charles Augustin Coulomb (1736–1806). Een lading van 1 coulomb (1 C) komt overeen met de lading van $6{,}25 \cdot 10^{18}$ elektronen. Dat is 6,25 maal een miljard maal een miljard elektronen. De lading van een elektron is dus ontzettend klein. Als je een pvc-buis opwrijft, is de lading ook klein, minder dan een miljoenste coulomb.



▲ **figuur 4**
Bij een spanning bewegen elektronen van min naar plus.

Spanning en elektronen

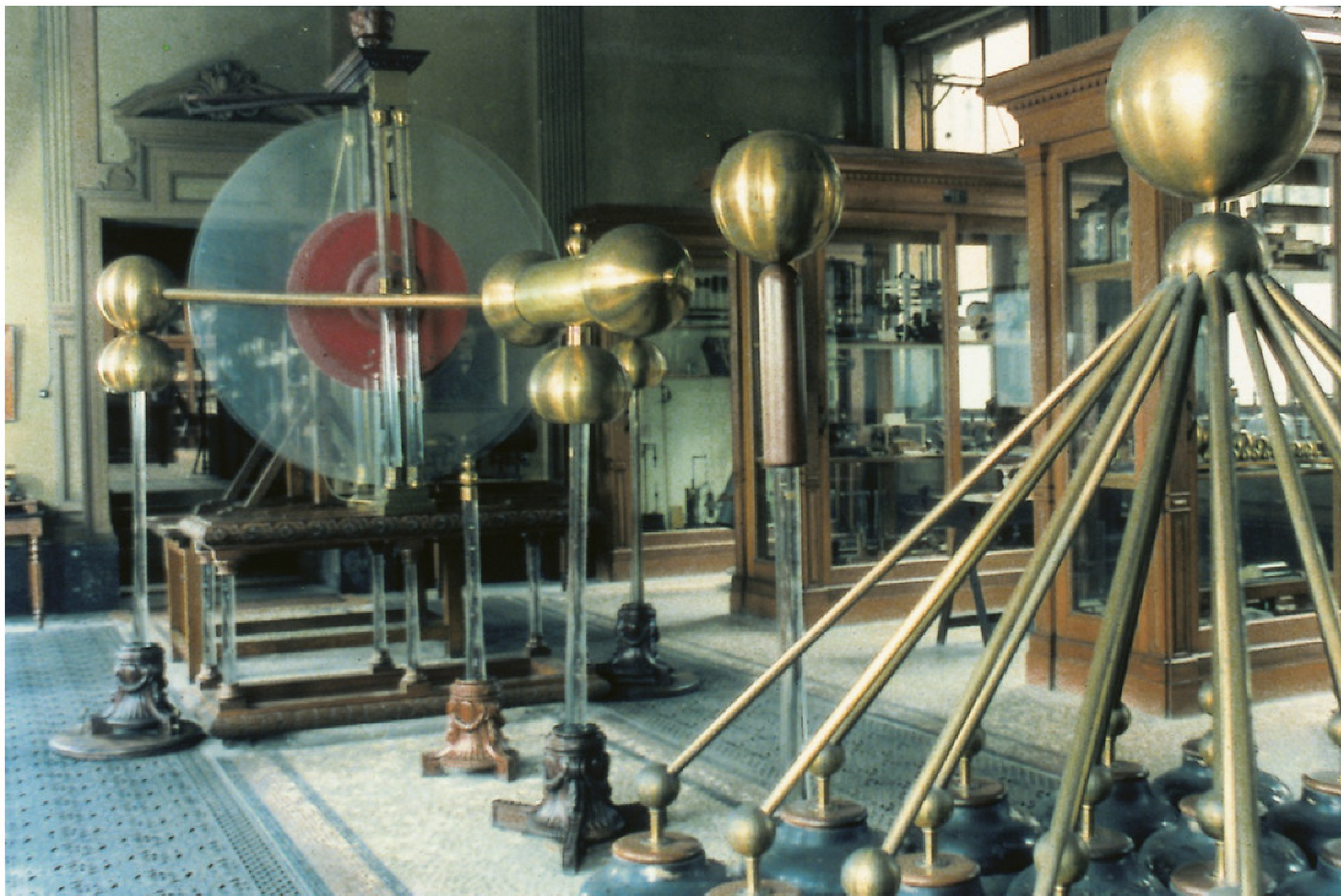
In figuur 4 zie je twee even grote metalen bollen op een plastic voet. Bol A is negatief en bol B is positief geladen. Er staat dan tussen A en B een **spanning**. De elektronen op bol A zitten dicht bij elkaar en stoten elkaar dus sterk af. Als je tussen A en B een geleidende verbinding maakt, gaan er elektronen bewegen van A naar B. Omdat elektronen negatief zijn, loopt de stroom van B naar A. Elektronen stromen dus van min naar plus, maar de stroom gaat van plus naar min. Het aantal elektronen dat per seconde van A naar B beweegt, is een maat voor de stroomsterkte.
In het begin heeft bol A een overschot aan elektronen en heeft bol B een tekort. Als de elektronen van A naar B stromen, is dat verschil snel verdwenen. De stroom tussen A en B loopt daardoor maar heel even. Daarna hebben beide bollen dezelfde lading en is er geen spanning meer.

Een tweede manier waarop een geladen voorwerp kan ontladen, is door het overspringen van een vonk. Lucht is wel een isolator, maar als de spanning tussen een voorwerp en de omgeving heel hoog is, gaat de lucht toch geleiden. Er ontstaat dan een elektronenstroom door de lucht en je ziet dan een vonk overspringen. Bliksem is eigenlijk een heel grote vonk, waarbij er elektronen stromen tussen de aarde en de wolk.

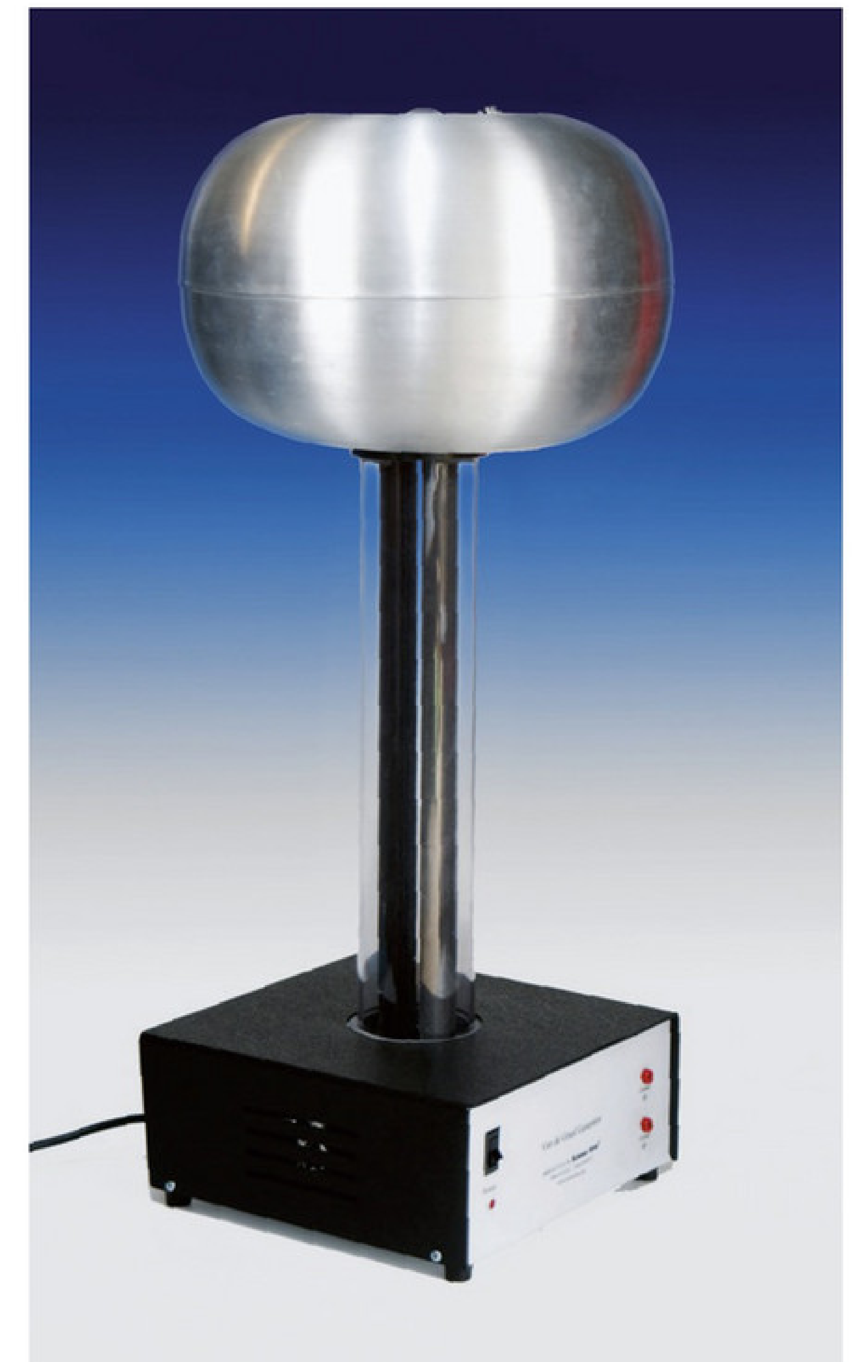
Soorten spanningsbronnen

Er zijn verschillende soorten spanningsbronnen:

- **Elektrostatische bronnen**. Een apparaat waarmee je statische lading kunt opwekken en vonken kunt maken, noem je een **elektriseermachine** (figuur 5 en 6). Elektriseermachines geven een hoge spanning en een zeer kort durende stroom. In het dagelijks leven heb je daar niet veel aan. Daarvoor gebruik je andere spanningsbronnen.
- **Chemische bronnen** zoals accu's en batterijen, zijn zeer geschikt voor mobiel gebruik. Hun werking is gebaseerd op chemische reacties in de batterij. De reactie bij de minpool levert elektronen aan de minpool en de reactie bij de pluspool neemt juist elektronen op. Buiten de batterij kan er daardoor een elektronenstroom door een draad lopen van de min- naar de pluspool. Als de beginstoffen op zijn, stoppen de reacties en is de batterij 'leeg'. Bij het opladen van een oplaadbare batterij of een accu loopt de reactie de andere kant op en worden de beginstoffen opnieuw gevormd.
- **Elektromagnetische bronnen**, bijvoorbeeld dynamo's en generatoren. Hun werking is uitgelegd in hoofdstuk 2.

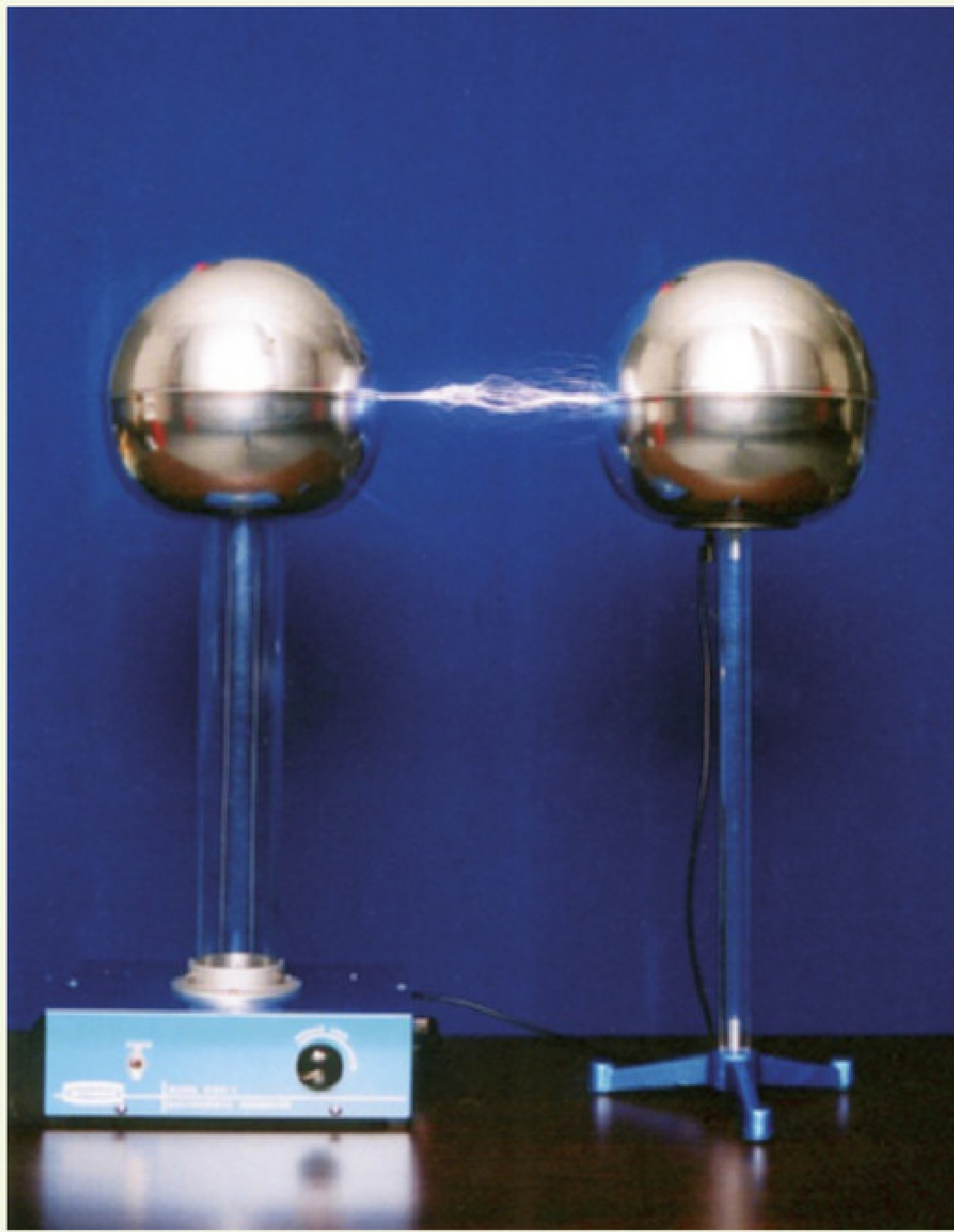


▲ **figuur 5**
de elektriseermachine in het Teylers Museum in Haarlem



▲ **figuur 6**
de elektriseermachine op school

Plus Ontlading in gassen



▲ figuur 7
ontlading tussen twee metalen bollen

Bij een vonk, en ook bij bliksem, vindt een ontlading plaats door lucht. Als je de bollen van figuur 7 te ver uit elkaar zet, ontstaan geen vonken. De afstand is dan te groot geworden. Dat geldt ook voor de metalen polen van een platte batterij van 4,5 V. Die staan vrij dicht bij elkaar, maar je zult daar nooit spontaan een vonk zien overspringen. Uit experimenten blijkt dat bij een afstand van 1 cm pas een vonk overspringt als de spanning 30 kV is!

Of er een vonk ontstaat, hangt af van de **elektrische veldsterkte** *E*. In droge lucht ontstaat er een vonk als:

$$E = \frac{\text{spanning}}{\text{afstand tussen geleiders}} > 3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$$

Er is dus per meter lucht een spanning nodig van drie miljoen volt. Bij bliksem is *E* groot genoeg door de enorme lading die is opgebouwd in de onweerswolk. De stroomsterkte tijdens de ontlading is zeer groot, maar de ontlading duurt maar kort. Na de bliksemflits komt de donder. Die is een gevolg van de plotselinge opwarming en uitzetting van de lucht.

Ook in de plasmabol (figuur 8) kun je ontladingen zien, bijvoorbeeld als je je vinger ertegen houdt. Dat komt niet door een hoge spanning, maar doordat het gas in de bol zeer ijl is. Daardoor is een kleinere veldsterkte *E* voldoende voor een ontlading.



◀ figuur 8
een plasmabol

opgaven

1 Je kunt een pvc-buis negatief laden door hem te wrijven met een wollen doek.
- **a** Leg uit hoe het komt dat de buis een lading krijgt.
- **b** Hoe heten de deeltjes die hierbij van het ene naar het andere voorwerp 'overspringen'?
- **c** Gaan die deeltjes van de buis naar de doek of andersom?
- **d** Waarom kunnen de positieve deeltjes niet overspringen?

2 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waaraan kun je merken dat een voorwerp elektrisch geladen (statisch) is?
- **b** Wat weet je over de lading in een neutraal voorwerp?
- **c** Waarom ligt er in huis juist op voorwerpen van kunststof vaak een laagje stof?
- **d** Wat is de eenheid van lading?



▲ figuur 9
Dit meisje houdt een Van de Graaff-generator vast.

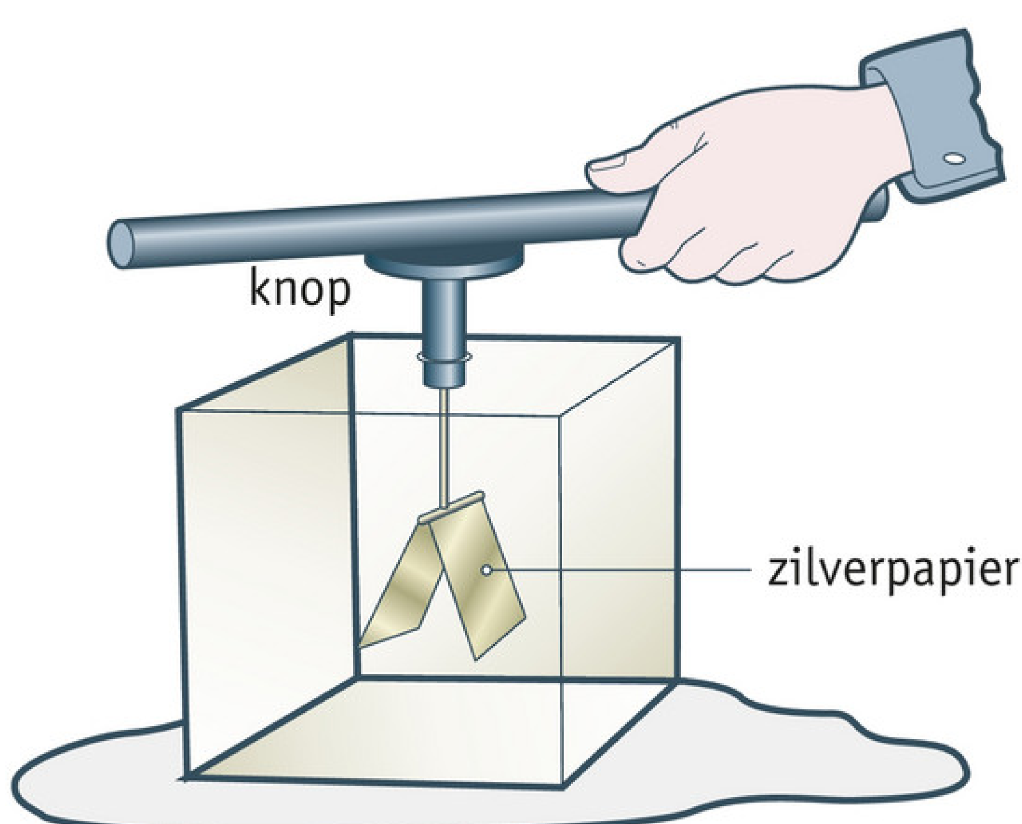
3 Het meisje in figuur 9 houdt een elektriseermachine vast.
- **a** Wat doet een elektriseermachine?
- **b** Verklaar wat er gebeurt met de haren van het meisje.

4 Bij deze opgave heb je werkblad 6-1 nodig.
Esther doet een proefje waarbij ze twee pingpongballen ophangt aan een nylon draad (tekening A op het werkblad).
Kevin zegt: “De twee ballen zijn op dezelfde manier geladen.”
Dennis zegt: “De ene bal is geladen, de andere niet.”
Peter zegt: “De twee ballen hebben een tegengestelde lading.”
- **a** Wie heeft er gelijk en waarom?
- **b** Teken in de vakken B en C wat je in de andere twee gevallen zou zien.
- **c** Noteer bij elke tekening welke jongen deze situatie heeft beschreven.

5 Tijdens een vlucht kan een vliegtuig geladen worden door wrijving met de lucht.
Leg uit:
- **a** waarom dat een risico is als het vliegtuig na de landing wordt bijgetankt.
- **b** waarom de kans op een ongeluk het grootst is als het op de luchthaven stevig vriest.
- **c** waarom het vliegtuig voor het tanken eerst met een metalen ‘aardekabel’ met de tankauto moet worden verbonden (figuur 10).
- **d** waarom de chauffeur bij het aanleggen van de kabel goed isolerende handschoenen moet dragen.

▶ figuur 10
De chauffeur van de tankauto rolt de aardekabel af.





▲ figuur 11
een elektroscoop

***6** In figuur 11 zie je een elektroscoop. Met dit apparaat kun je nagaan of een voorwerp geladen is. Als je een geladen voorwerp tegen de knop houdt, bewegen de twee blaadjes zilverpapier bij elkaar vandaan.
- **a** Leg uit hoe dat komt.
- **b** Leg uit of je aan de uitslag van de elektroscoop kunt zien of het geladen voorwerp positief of negatief geladen is.
- **c** Leg uit hoe je aan de figuur kunt zien dat de staaf van een isolerend materiaal moet zijn gemaakt.
- **d** Als je de staaf langs de knop beweegt, gaan de blaadjes verder uit elkaar staan.
  Geef daarvoor een verklaring.

7 Marijke verbindt de knop van een positief geladen elektroscoop A via een geleidende draad met een even sterk negatief geladen elektroscoop B.
a Hoe verandert dan de uitslag van beide elektroscopen?
b Leg uit hoe je dat kunt begrijpen.

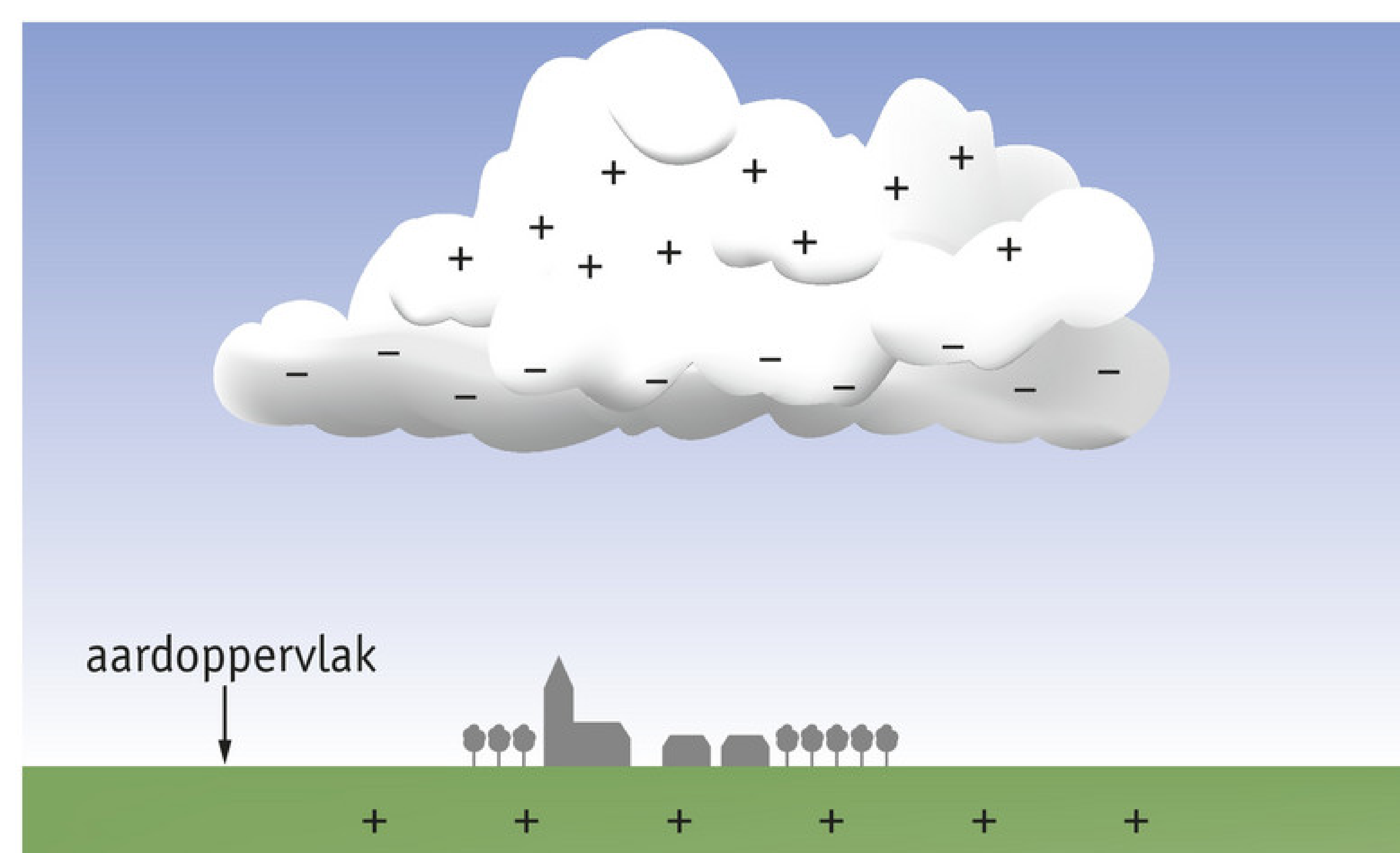
8 Saskia wekt met een elektriseermachine een spanning op van 10 kV. De bol van de elektriseermachine is positief geladen. Als ze in het donker met een vinger dicht bij de bol komt, voelt ze een schokje en ziet ze een vonkje overspringen tussen haar vinger en de bol.
a Leg uit hoe de elektronen zich tijdens die vonk hebben verplaatst.
b De spanning is wel 10 kV, maar toch is dat niet gevaarlijk.
Leg uit waardoor dat komt.

***9** Een stroom van 1 ampère komt overeen met een stroom van 1 coulomb lading per seconde: 1 A = 1 C/s.
a Hoeveel elektronen ‘stromen’ per seconde bij een stroomsterkte van 1 mA?
b Bereken de lading van één elektron.

Plus Ontlading in gassen

10 De elektriseermachine van Van Marum (figuur 5 op bladzijde 236) kon vonken van 60 cm maken. Dat lukte alleen op heel droge dagen.
a Leg uit waarom dat niet lukte bij vochtig weer.
b Waarom kun je met zo’n machine alleen maar ‘losse’ vonken opwekken en geen continue grote stroom?
c Bereken de spanning die deze machine maximaal kan opwekken.

***11** Tussen de onderkant van een onweerswolk en de aarde bestaat een grote spanning. De lucht is vochtig waardoor er al een vonk overspringt bij 1,6 MV/m. De bovenkant van de onweerswolk is positief geladen en de onderkant negatief (figuur 12).
a Leg uit waardoor het aardoppervlak onder de wolk positief geladen wordt.
b Schat hoe hoog de onderkant van de onweerswolk in de figuur ongeveer boven de aarde zit.
c Bereken daarmee de spanning tussen wolk en aarde.
d Verklaar waarom bij een onweersbui er ook bliksem overspringt binnen een wolk.



▶ **figuur 12**
de verdeling van ladingen in een onweerswolk

2 Weerstand

Veel apparaten in huis werken op de netspanning van 230 V. De stroomsterkte kan heel verschillend zijn: de stroomsterkte door een wasdroger is bijvoorbeeld veel groter dan die door een elektrische wekker. Blijkbaar ondervindt de stroom elektronen in de wasdroger minder weerstand.

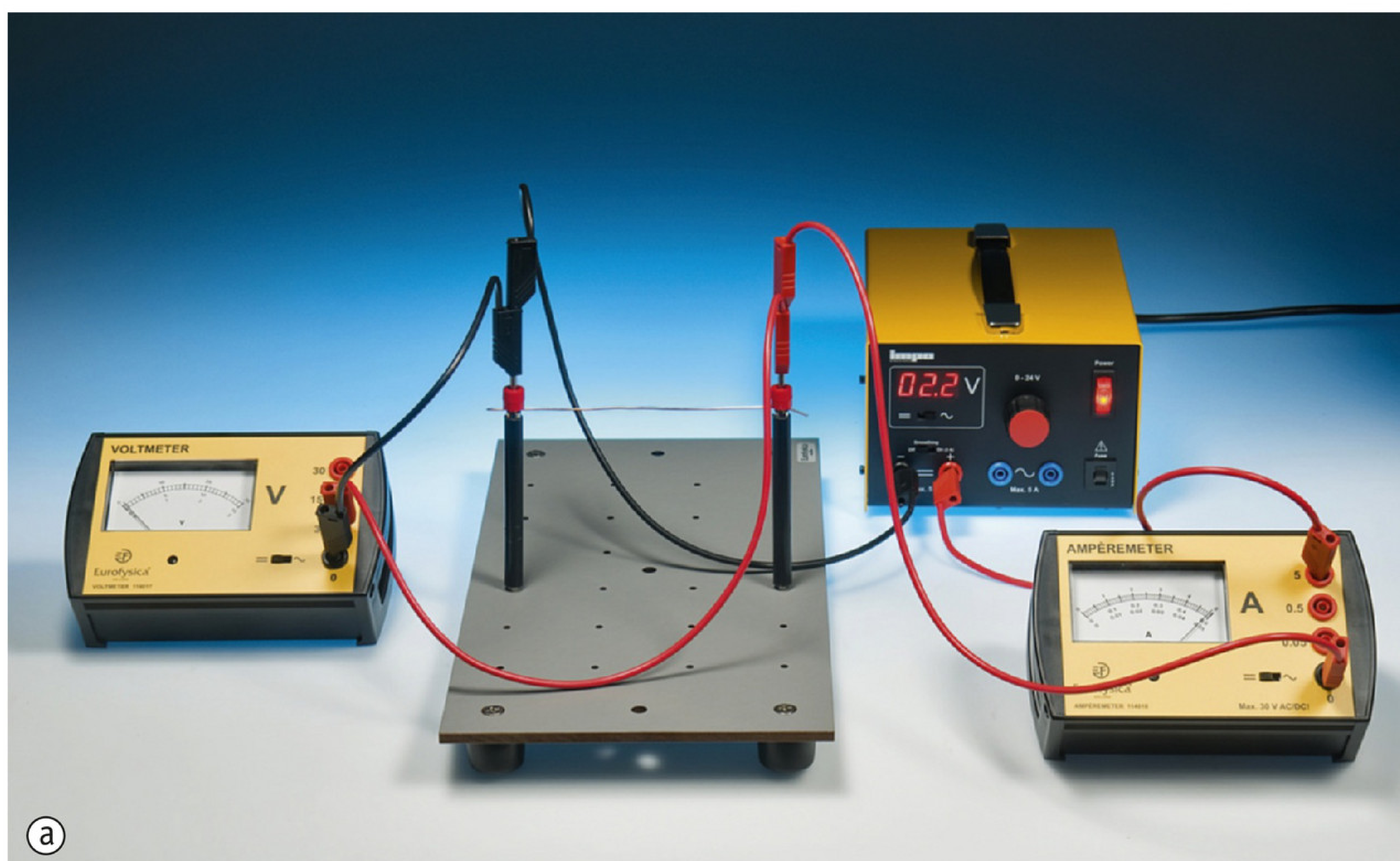
De weerstand bepalen

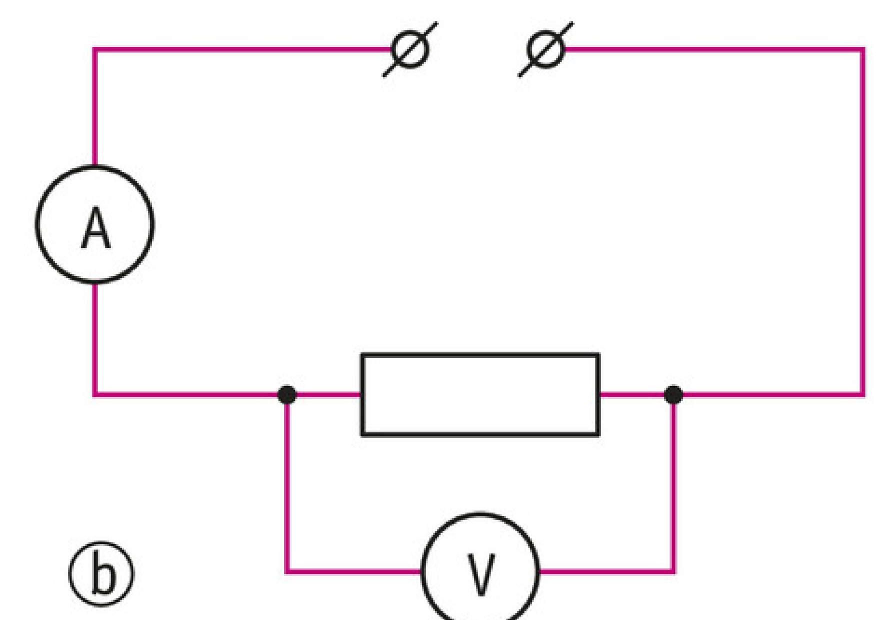
Met de opstelling van figuur 13a kun je het verband meten tussen de spanning over een draad en de stroom door de draad. In figuur 13b zie je het schakelschema (de draad is weergegeven als een rechthoekje). Je kunt deze proef doen met een aantal verschillende draden. Dan zie je dat er bij sommige draden een grote spanning nodig is om een klein stroompje door de draad te 'persen'. Zo'n draad heeft een grote **weerstand**. De weerstand is klein als een kleine spanning al een flinke stroomsterkte oplevert.
Je kunt de grootte van de weerstand ook berekenen. Per definitie is de weerstand gelijk aan de spanning gedeeld door de stroomsterkte. In formulevorm:

$$R = \frac{U}{I}$$

Als je de spanning U invult in V en de stroomsterkte I in A, vind je de weerstand R in Ω. De eenheid voor weerstand is genoemd naar de Duitse natuurkundige Georg Simon Ohm (1787–1854).

▼ **figuur 13**
Zo bepaal je de weerstand van een draad: (a) de opstelling; (b) het schakelschema.





Voorbeeldopgave 1
Op de verpakking van een ledlampje staat: 12 V/17 mA.
Bereken de weerstand van het lampje in kilo-ohm (kΩ) bij 12 V.

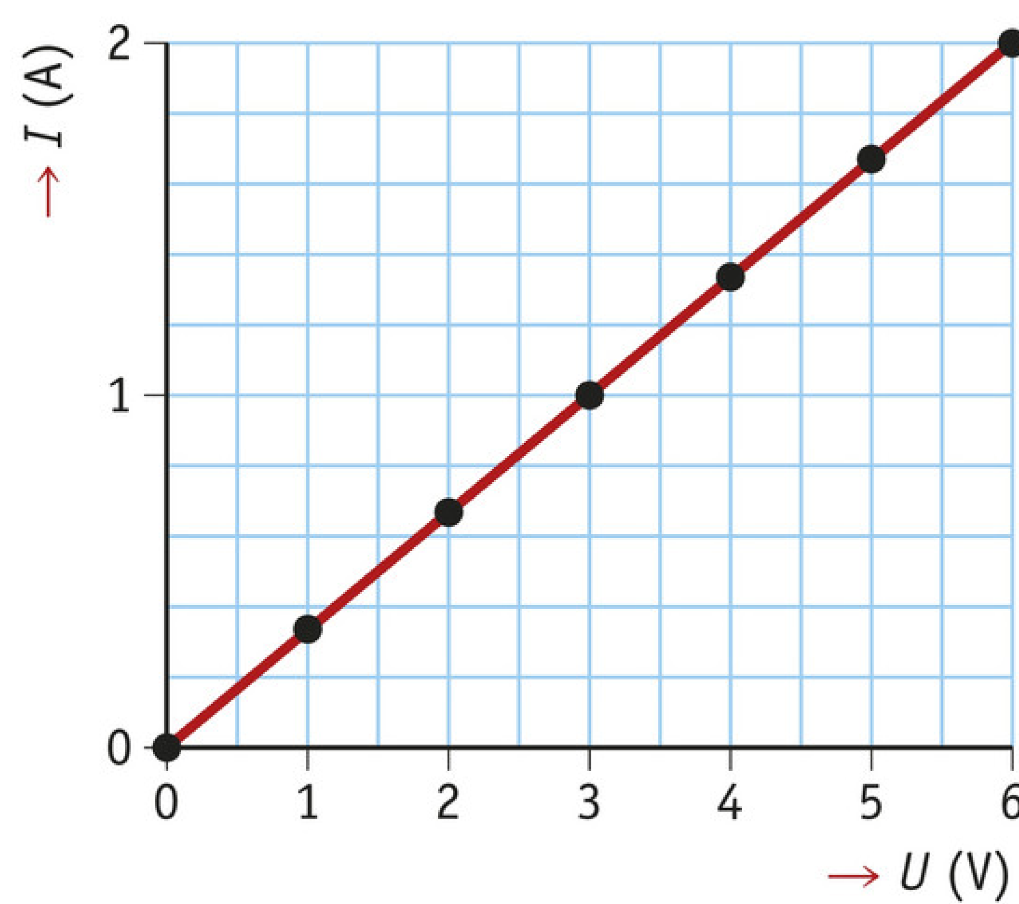
gegevens $U = 12$ V
$I = 17$ mA = 0,017 A

gevraagd $R = ?$

uitwerking $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{12}{0{,}017} = 705{,}88\ldots\ \Omega = 0{,}71\ \text{k}\Omega$

De wet van Ohm Proef 2

In figuur 14 zie je het **(*I*,*U*)-diagram** van de proef van figuur 13 met een draad van het metaal **constantaan** (een legering van koper, nikkel en mangaan). Bij de proef werd de stroomsterkte door de draad gemeten bij een aantal waarden van de spanning. De spanning (op de draad) en de stroomsterkte (door de draad) zijn recht evenredig (zie hoofdstuk 1). Deze regel noem je de **wet van Ohm**.

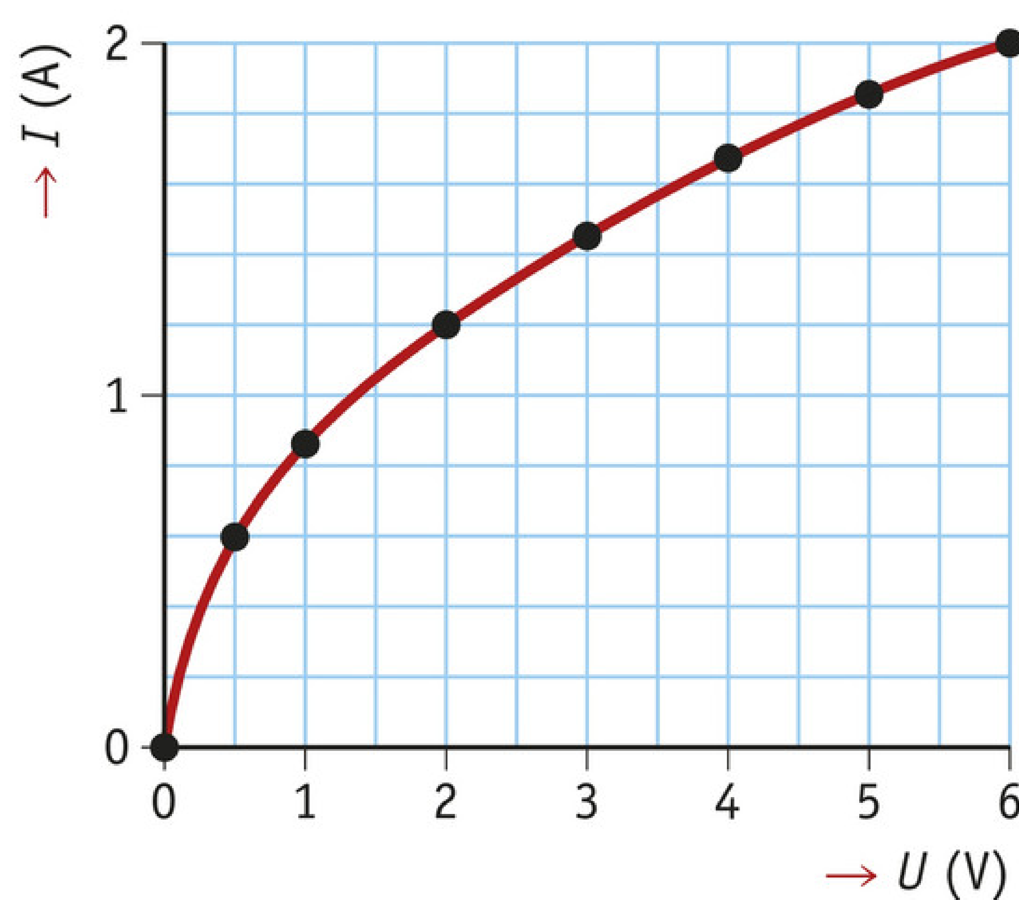


▲ **figuur 14**
het (*I*,*U*)-diagram van een constantaandraad

Uit de wet van Ohm volgt dat de weerstand van deze draad een constante waarde heeft: als je de spanning *U* deelt door de stroomsterkte *I*, komt daar steeds hetzelfde getal uit. De weerstand *R* is dus bij elke waarde van de spanning altijd even groot. Zo'n weerstand noem je een **ohmse weerstand**.

Weerstand en temperatuur Proef 3

Als je het verband tussen de spanning en de stroomsterkte meet bij een gloeilampje, krijg je een heel ander resultaat (figuur 15). Spanning en stroomsterkte zijn nu niet recht evenredig: als de spanning 2× zo groot wordt, blijft de stroomsterkte daar duidelijk bij achter. De weerstand neemt dus toe. Met de definitie van weerstand ($R = U : I$) kun je voor elke spanning de waarde van de weerstand berekenen. Die waarde is niet constant en daarom geldt voor dit lampje de Wet van Ohm niet.
Dat de weerstand toeneemt, komt door de stijging van de temperatuur van de gloeidraad. Bijna alle soorten draden krijgen een grotere weerstand als hun temperatuur stijgt. Draden van constantaan zijn een uitzondering: hun weerstand is constant, ook als ze veel heter worden.



▲ **figuur 15**
het (*I*,*U*)-diagram van een gloeilampje

▼ **tabel 1** soortelijke weerstand bij kamertemperatuur

stof	soortelijke weerstand ρ ($\Omega \cdot mm^2/m$) bij 20 °C
aluminium	0,027
constantaan	0,45
goud	0,022
ijzer	0,105
koper	0,017
staal	0,18
wolfraam	0,055
zilver	0,016

Soortelijke weerstand

De weerstand van een wolfraamdraad is, bij een bepaalde temperatuur, niet gelijk aan die van een identieke ijzerdraad. Blijkbaar hangt weerstand af van de soort stof. De bijbehorende stofeigenschap noem je de **soortelijke weerstand** (symbool ρ, tabel 1). Isolatoren hebben een grote soortelijke weerstand. Voor pvc bijvoorbeeld is dat 10^6 $\Omega \cdot mm^2/m$.

Behalve van de temperatuur blijkt de weerstand van een draad af te hangen van de volgende factoren:
– de lengte van de draad (l);
– de doorsnede van de draad (A);
– het materiaal van de draad, dus de soortelijke weerstand.

Je kunt de weerstand van een draad berekenen met de volgende formule:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Als je ρ invult in $\Omega \cdot mm^2/m$, l in m en A in mm^2, dan vind je R in Ω.

Voorbeeldopgave 2
Voor elektriciteitsleidingen in huis wordt koperdraad gebruikt.
Bereken de weerstand van 10 m koperdraad met een diameter d van 1,6 mm.

gegevens
$\rho = 0{,}017\ \Omega \cdot mm^2/m$ (tabel 1)
$d = 1{,}6$ mm
$l = 10$ m

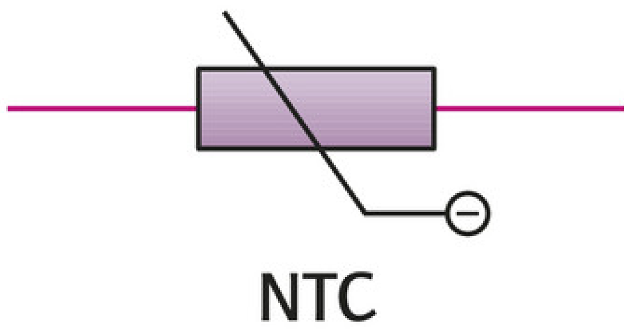
gevraagd
$R = ?$

uitwerking
$r = 0{,}5 \cdot d = 0{,}5 \times 1{,}6 = 0{,}8$ mm
$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0{,}8^2 = 2{,}010...\ mm^2$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0{,}017 \times 10}{2{,}010...} = 0{,}085\ \Omega$$

Let op: rond niet te veel af tijdens de berekening van de waarde van A.

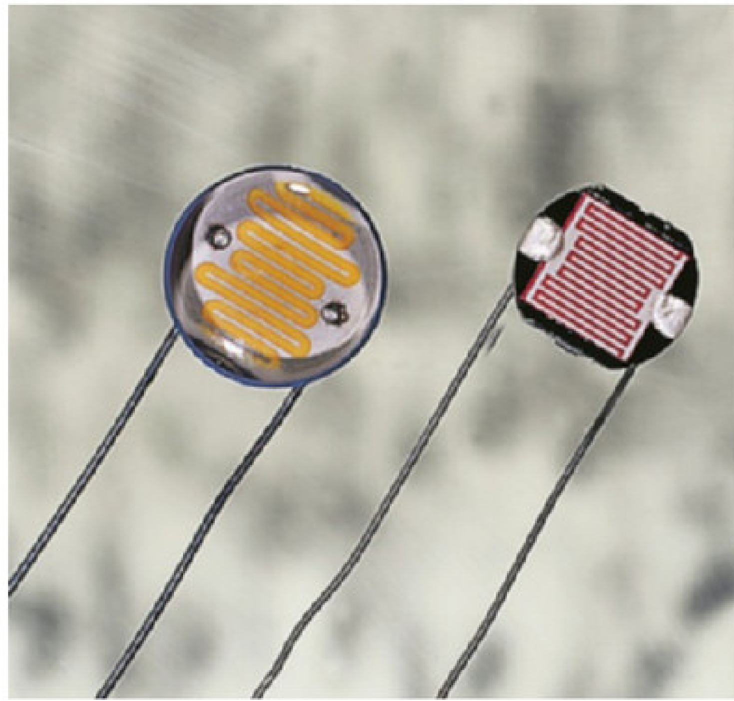


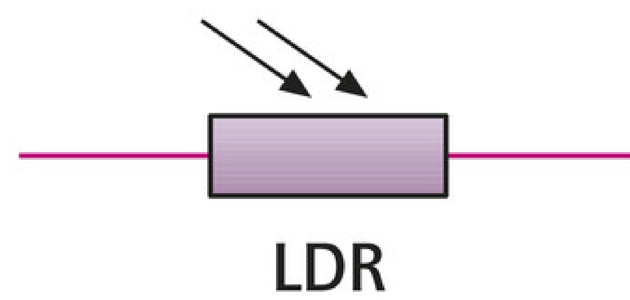


▲ **figuur 16**
enkele NTC's met daaronder het schakelsymbool

Bijzondere componenten

In schakelingen worden soms **componenten** (onderdelen) gebruikt met een veranderlijke weerstand. Voorbeelden daarvan zijn de NTC, de PTC en de LDR:
– Een **NTC** (figuur 16) en een **PTC** zijn weerstanden die gevoelig zijn voor veranderingen in temperatuur. Als de temperatuur van een NTC stijgt, daalt zijn weerstand. Bij een PTC stijgt de weerstand dan juist.



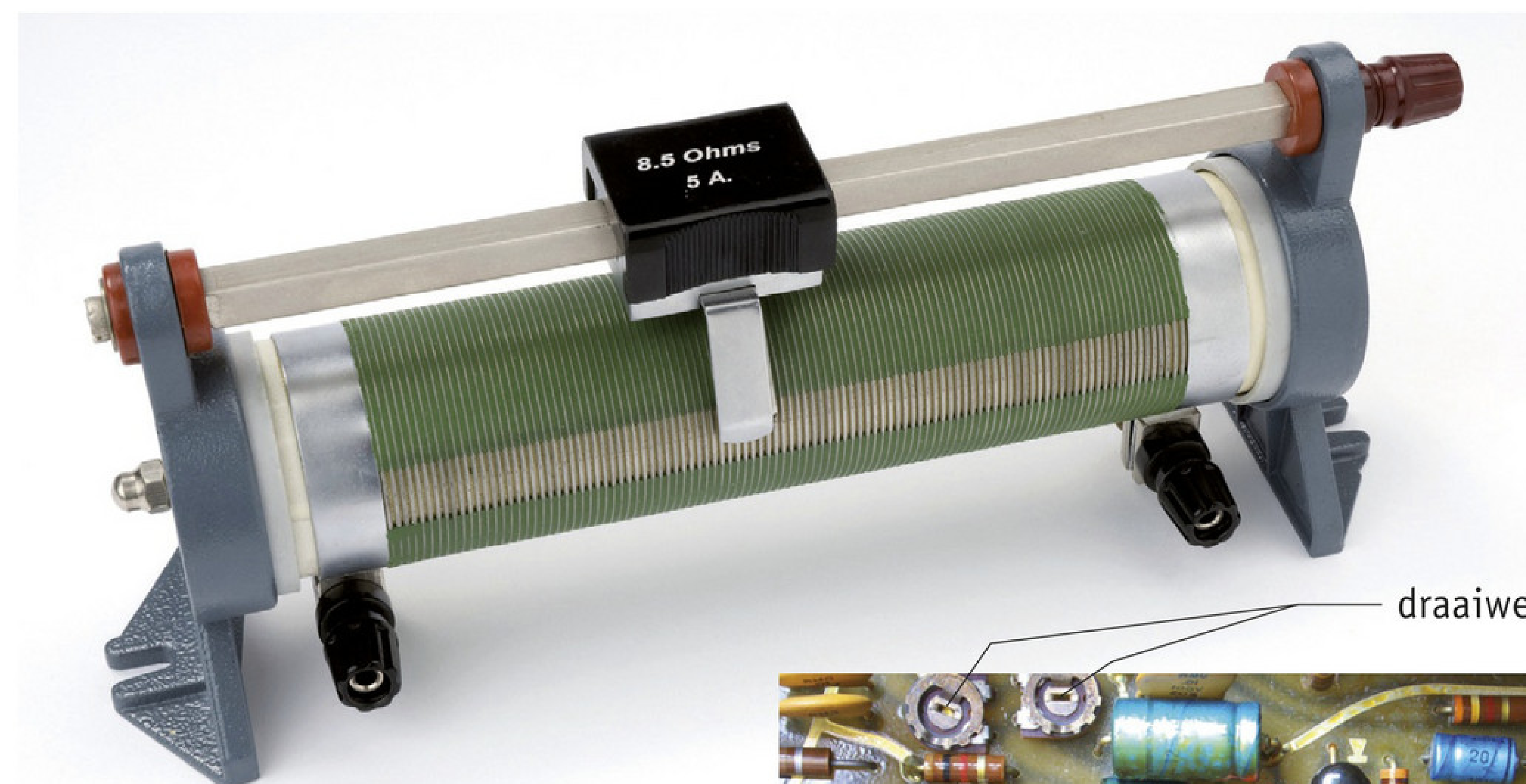


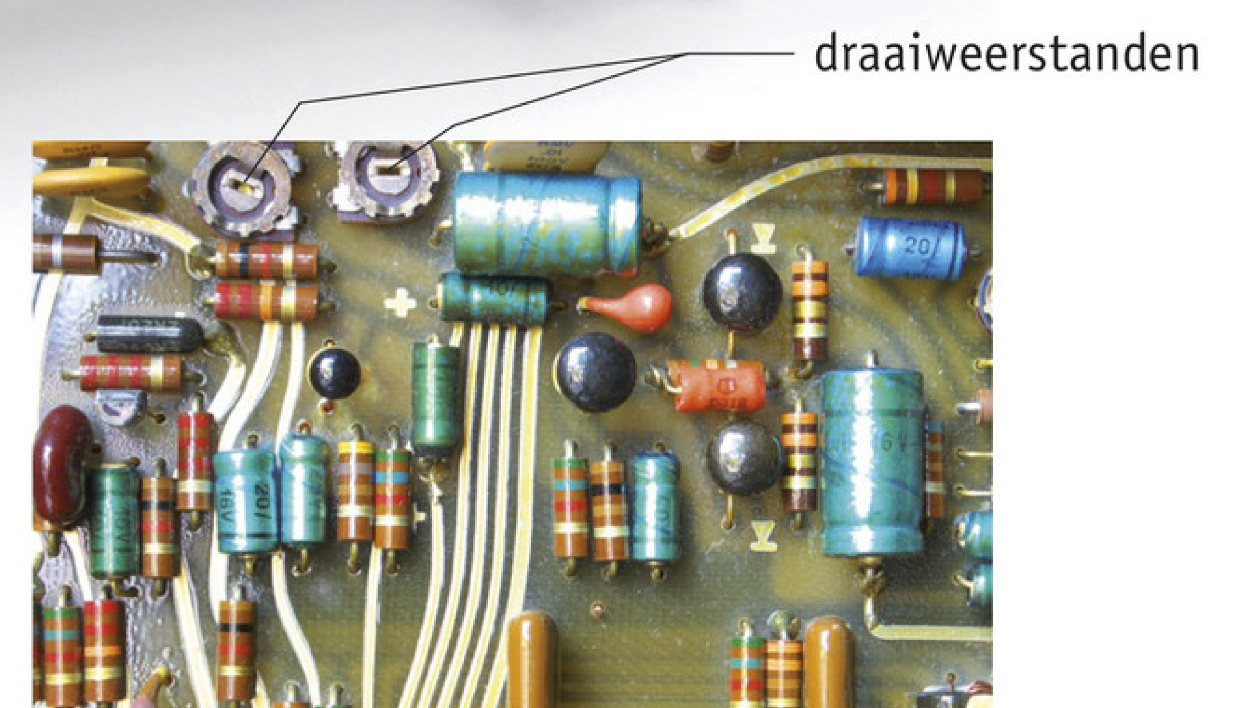
▲ **figuur 17**
enkele LDR's met daaronder het schakelsymbool

– Een **LDR** (figuur 17) is gevoelig voor veranderingen in de hoeveelheid licht. Als er meer licht op een LDR valt, daalt zijn weerstand.

Variabele weerstand

Een andere veelgebruikte component is de variabele weerstand. Die bestaat uit een lange opgerolde draad. De stroom loopt maar door een deel van de draad. De waarde van die lengte kun je veranderen door te schuiven (figuur 18a) of te draaien (figuur 18b). In beide gevallen verander je daarmee de waarde van de weerstand.

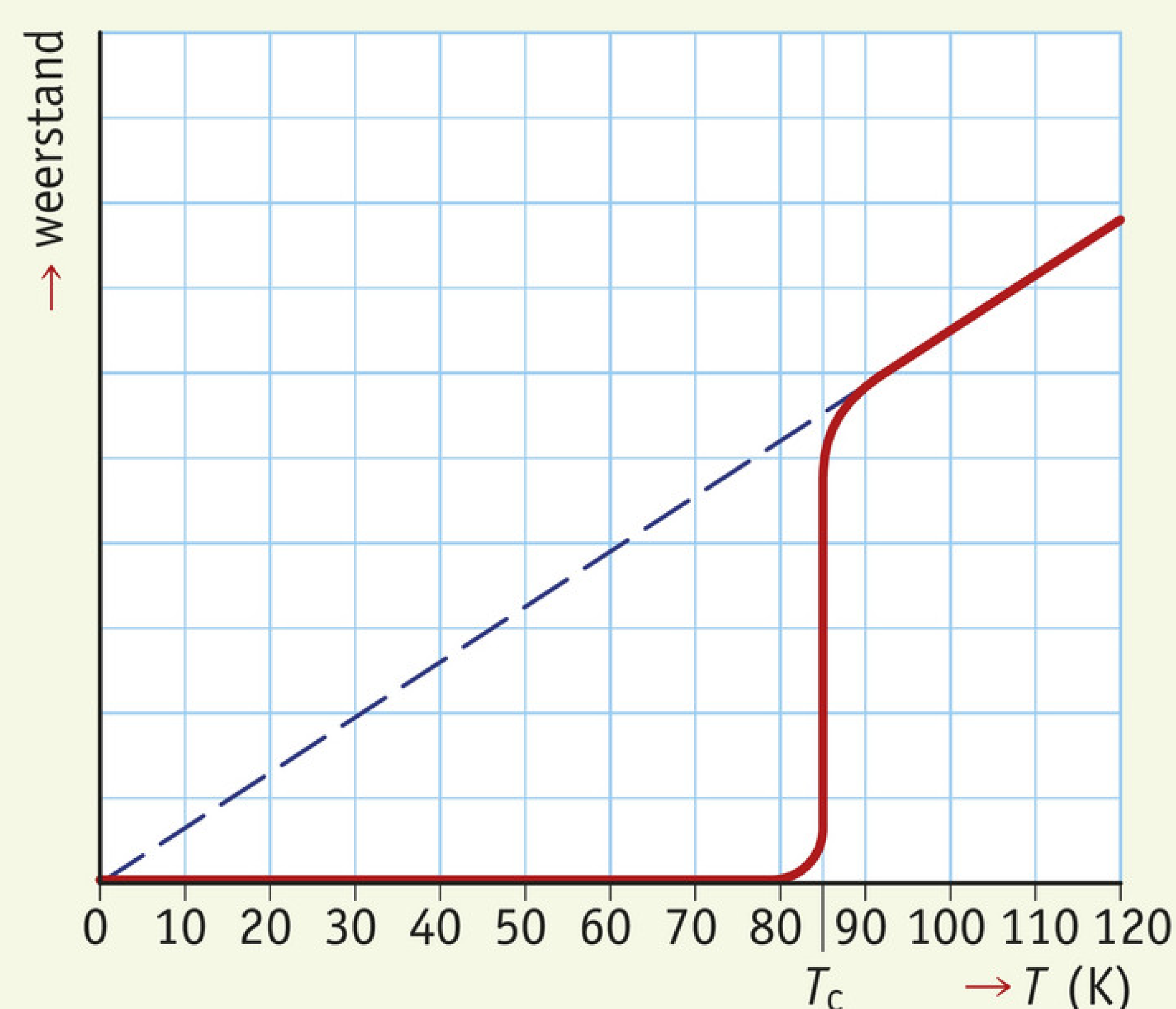




▶ **figuur 18**
een schuifweerstand op school (a) en draaiweerstanden in een schakeling (b)

Plus Supergeleiding

De weerstand van een draad neemt af als de temperatuur daalt. **Supergeleiding** is het verschijnsel dat sommige materialen bij een bepaalde temperatuur hun elektrische weerstand volledig verliezen. Een elektrische stroom kan dan zonder energieverlies door zo'n materiaal stromen (figuur 19). Deze temperatuur noem je de **sprongtemperatuur** T_c.



▶ **figuur 19**
de sprongtemperatuur

De meeste supergeleiders zijn metalen. Ze worden supergeleidend vlak boven het absolute nulpunt. De sprongtemperatuur is dan ongeveer –263 °C. Er zijn ook materialen gevonden met een veel hogere sprongtemperatuur, zelfs bij de temperatuur van vloeibare stikstof (77 K ofwel –196 °C). Vloeibare stikstof is eenvoudig en goedkoop te fabriceren en daardoor is supergeleiding ook commercieel aantrekkelijk geworden.

▼ **figuur 20**
een MRI-scanner



Supergeleiding wordt onder andere toegepast in MRI-scanners (figuur 20). Een MRI-scanner maakt beelden van je lichaam die lijken op een röntgenfoto maar dan veel gedetailleerder. Het sterke magneetveld dat daarvoor nodig is, wordt geleverd door spoelen. De stroomsterkte in die spoelen is zó groot dat koperdraad veel te heet zou worden. Door de supergeleiding gebeurt dat niet.

opgaven

12 Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke formule kun je de weerstand van een component berekenen?
b Wat is het bijzondere van een ohmse weerstand?
c Welke bijzondere eigenschap hebben constantaandraden?
d Hoe heet de component waarvan de weerstand daalt als de temperatuur stijgt?
e Welke drie eigenschappen van een stroomdraad bepalen zijn weerstand?

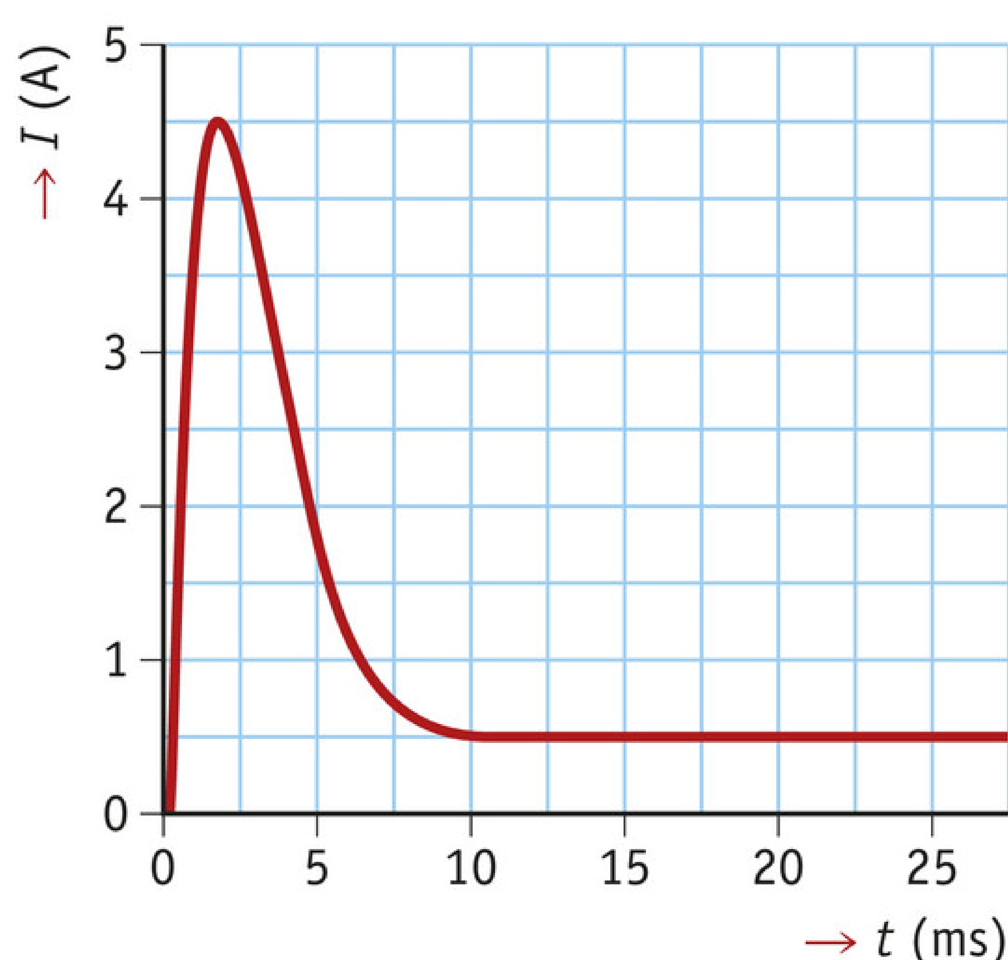
13 Neem tabel 2 over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 2** enkele grootheden en eenheden

grootheid	symbool	eenheid	symbool
spanning			
	I		
		ohm	

14 Bij een proef laat Peter een fietslampje branden op een batterij (4,5 V). Zijn meetopstelling is aangesloten op een computer. Na de proef laat hij de computer een grafiek tekenen van de eerste 25 ms na het inschakelen van de stroom (figuur 21).

a Waaraan kun je zien dat de weerstand van de gloeidraad niet constant is?
b Bereken de weerstand van de gloeidraad als de stroomsterkte maximaal is.
c Hoe komt het dat de stroomsterkte daarna sterk afneemt?
d Bereken de weerstand van de gloeidraad als de stroomsterkte constant is.



▲ **figuur 21**
de grafiek van de proef van Peter

▼ **tabel 3** de tabel van Anke

spanning (V)	stroomsterkte (A)
2,0	0,18
4,0	0,26
6,0	0,32
8,0	0,37
10,0	0,41
12,0	0,44

15 Anke laat een gloeilampje branden op verschillende spanningen en meet telkens de stroomsterkte. Haar meetresultaten staan in tabel 3.

a Verwerk Ankes meetresultaten tot een (*I*,*U*)-diagram.

b De weerstand van het lampje verandert als het lampje feller gaat branden. Hoe kun je dat aan de grafiek zien?

c Bepaal de weerstand van het lampje bij een spanning van 7,0 V.

d Kun je de gloeidraad van het lampje beschouwen als een NTC, een PTC of een LDR?

▼ **tabel 4** de tabel van Joanne

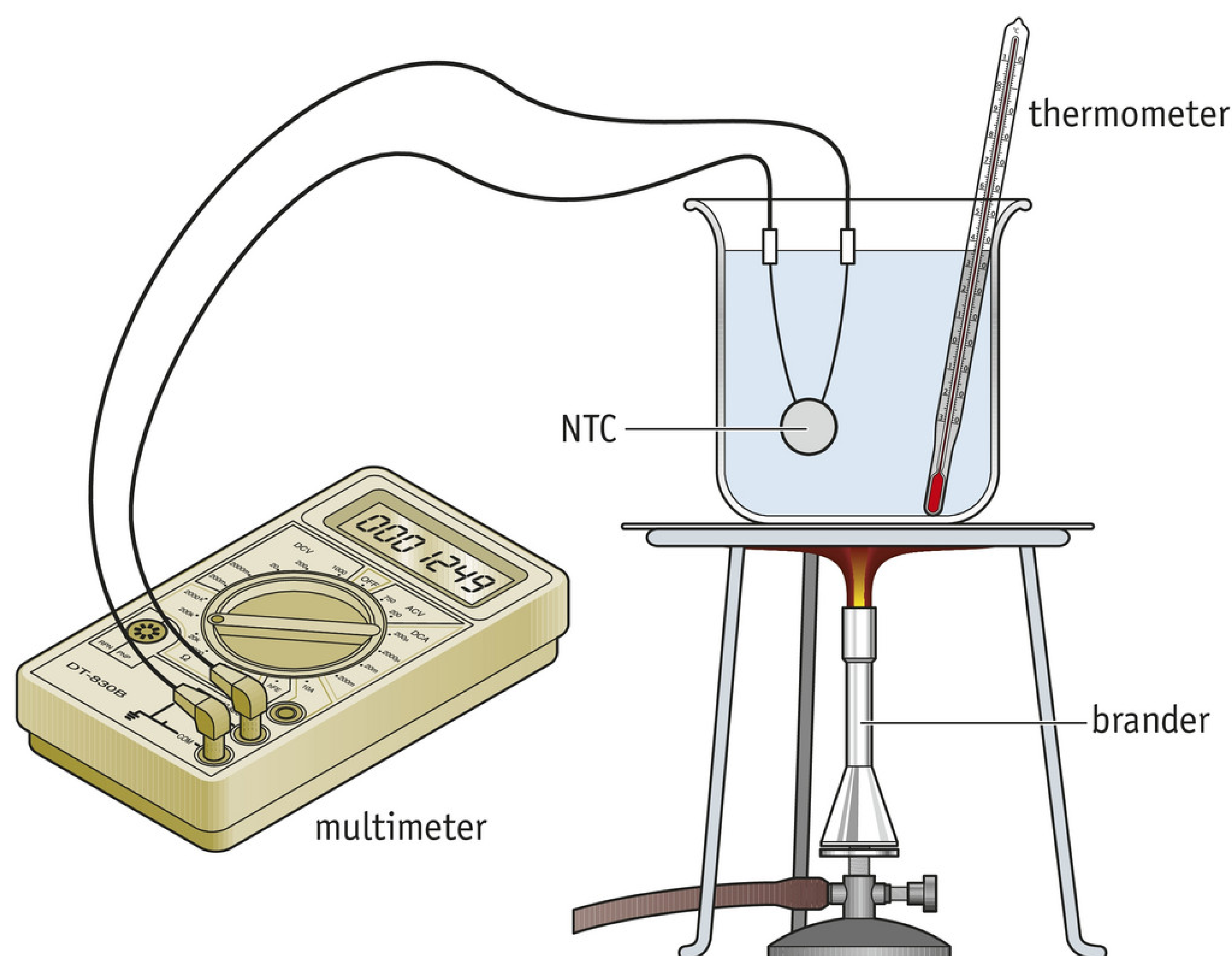
temperatuur (°C)	weerstand (Ω)
20	1249
30	785
40	511
50	341
60	255
70	176
80	129
90	96
100	72

***16** Bij deze opgave heb je werkblad 6-2 nodig.
Joanne voert de proef uit die in figuur 22 is getekend. In tabel 4 zie je haar meetresultaten.

a Teken op het werkblad een grafiek van Joannes meetresultaten.

b Lees uit deze grafiek af hoe hoog de temperatuur is:
- als de multimeter 605 Ω aangeeft.
- als de multimeter 79 Ω aangeeft.

c Leg uit waarom een bepaling van de temperatuur boven de 1249 Ω en beneden de 72 Ω geen betrouwbaar resultaat oplevert.



▶ **figuur 22**
de proefopstelling van Joanne

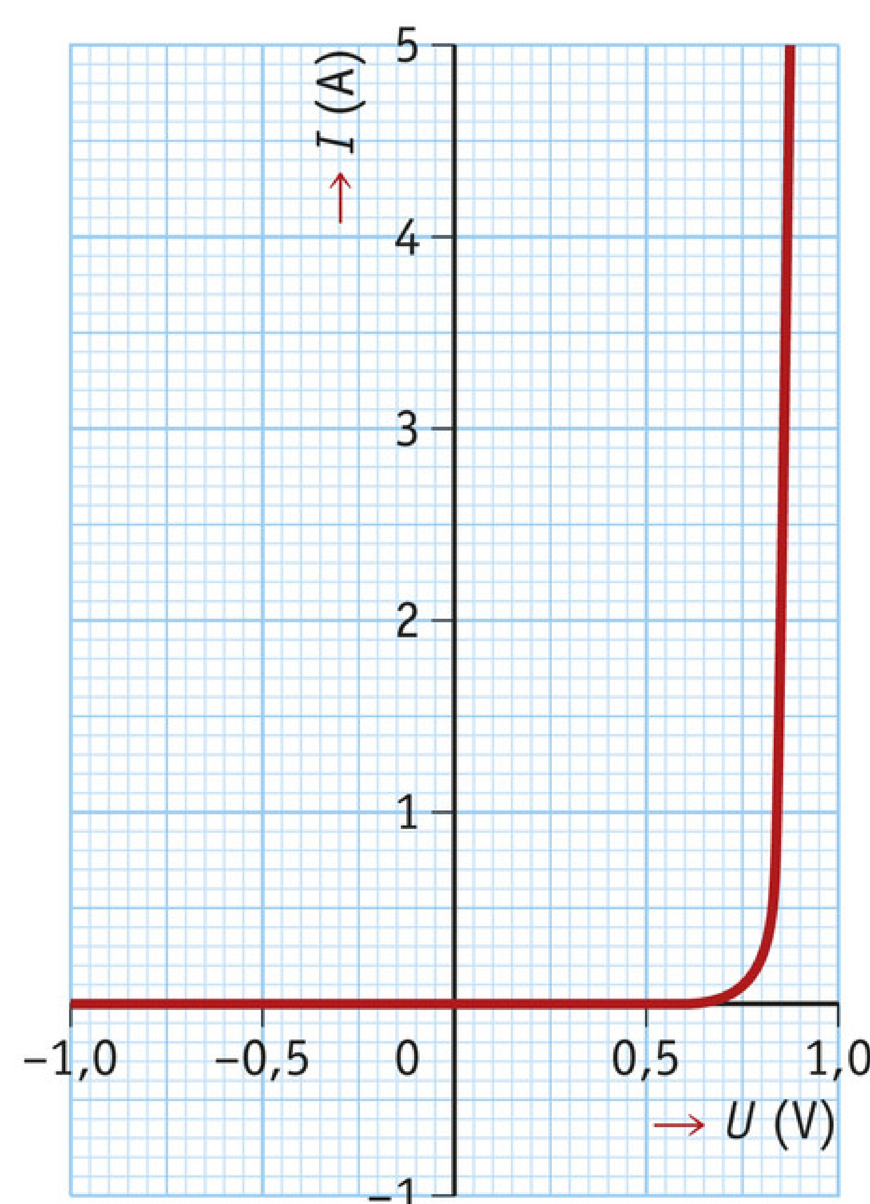
***17** Een component die veel in schakelingen wordt gebruikt, is de diode. Een diode heeft twee aansluitpunten. In figuur 23 zie je het (*I*,*U*)-diagram van een diode.

a Bij veel componenten maakt het niet uit hoe je ze in de schakeling inbouwt.
Hoe blijkt uit het diagram dat dit voor de diode niet opgaat?

b Wat kun je zeggen over de weerstand van een diode bij verschillende waarden van de spanning?

c Voor elke diode geldt een bepaalde doorlaatspanning.
Wat wordt bedoeld met deze spanning en hoe groot is deze voor de diode van de figuur?

d Leg uit dat je een diode kunt vergelijken met het ventiel van een fietsband.



▲ **figuur 23**
het (*I*,*U*)-diagram van een diode

18 Zoek op internet informatie over de leugendetector (figuur 24).
- **a** Op welke manier meet een leugendetector de weerstand van de huid?
- **b** Hoe verandert de huidweerstand als de proefpersoon begint te zweten?
- **c** Hoe komt het dat zweet een veel betere geleider is dan zuiver water?
- **d** Wat meet een leugendetector nog meer behalve de huidweerstand?
- **e** Waarom is het gebruik van de leugendetector 'nogal omstreden'?

Leugendetector

De weerstand van de huid hangt af van de vochtigheid van de huid. Van deze eigenschap wordt gebruikgemaakt bij de zogenoemde leugendetector. Dit is een apparaat waarmee men kan controleren of een verdachte liegt bij een ondervraging. Psychologen gaan ervan uit dat mensen meer zweten als ze liegen dan wanneer ze de waarheid spreken. Dus een snelle verandering van de huidweerstand bij de beantwoording van een vraag wijst erop dat de verdachte liegt. De methode wordt vooral in de Verenigde Staten gebruikt en is nogal omstreden.



▲ **figuur 24**
meten met een leugendetector

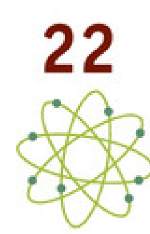
19 Joyce wil de soortelijke weerstand van ijzer bepalen. Ze besluit dat te doen door de weerstand van een stuk ijzerdraad te bepalen met behulp van een spanningsmeter en een stroommeter.
- **a** Teken de schakeling die Joyce gebruikt.
- **b** Ze meet een stroomsterkte van 0,14 A bij een spanning van 0,50 V. Bereken de weerstand van de draad.
- **c** De draad is 100 cm lang en heeft een diameter van 0,20 mm. Bereken de soortelijke weerstand van ijzer.
- **d** Vergelijk haar resultaat met het gegeven in tabel 1 op bladzijde 242. Geef een mogelijke verklaring voor het verschil.

***20** Erwin heeft een klosje koperdraad. Hij wil weten hoeveel meter draad er nog op het klosje zit. Hij heeft geen zin om de draad van het klosje af te rollen en na te meten. Daarom bepaalt hij de lengte door de weerstand te meten. Op het klosje staat dat de draad een diameter heeft van 0,25 mm.
- **a** Bereken de doorsnede van de draad.
- **b** Hij meet een weerstand van 1,2 Ω. Bereken de lengte van de draad.
- **c** Leg uit waarom hij zijn metingen onmiddellijk na het aansluiten van de spanning moet doen.

***21** Schets grafieken voor de volgende verbanden voor een metaaldraad. Zet de weerstand langs de *y*-as.

a het verband tussen zijn weerstand en zijn lengte
b het verband tussen zijn weerstand en zijn doorsnede
c het verband tussen zijn weerstand en zijn temperatuur
d Bij welke van de drie grafieken is er een omgekeerd evenredig verband? Zie vaardigheid 8 achter in het boek.

22 Een leerling wil de verhouding van de weerstanden van twee draadjes A en B bepalen. De draden zijn van hetzelfde materiaal gemaakt.



Draad A heeft een lengte van 1,0 m en een diameter van 0,2 mm; noem de weerstand van dit draadje R_A.
Draad B heeft een lengte van 0,5 m en een diameter van 0,4 mm; noem de weerstand van dit draadje R_B.
Welke van de volgende uitspraken is juist?

A $R_A = 8 \cdot R_B$
B $R_A = 4 \cdot R_B$
C $R_A = 2 \cdot R_B$
D $R_A = R_B$

Naar: IJSO

Plus Supergeleiding

23 Een MRI-scanner maakt gebruik van supergeleiding.

a Wat is supergeleiding?
b Wat is de sprongtemperatuur?
c Hoe kun je een magneetveld opwekken?
d Waarom is supergeleiding hier nuttig?
e Han beweert: "Dankzij supergeleiders kun je gratis een magneetveld opwekken."
Leg uit dat Han geen gelijk heeft.
f Leg uit waarom supergeleiding nog niet bruikbaar is voor het transport van elektrische energie.

24 Zoek op internet informatie over supergeleiders.

a Wie ontdekte supergeleiding en wanneer was dat?
b Wetenschappers proberen materialen te maken die bij nog hogere temperaturen supergeleidend zijn.
Waarom blijven ze daarmee doorgaan?
c Hoe groot is op dit moment de hoogste temperatuur waarbij supergeleiding optreedt? Bij welk materiaal gebeurt dat?

3 Weerstanden schakelen

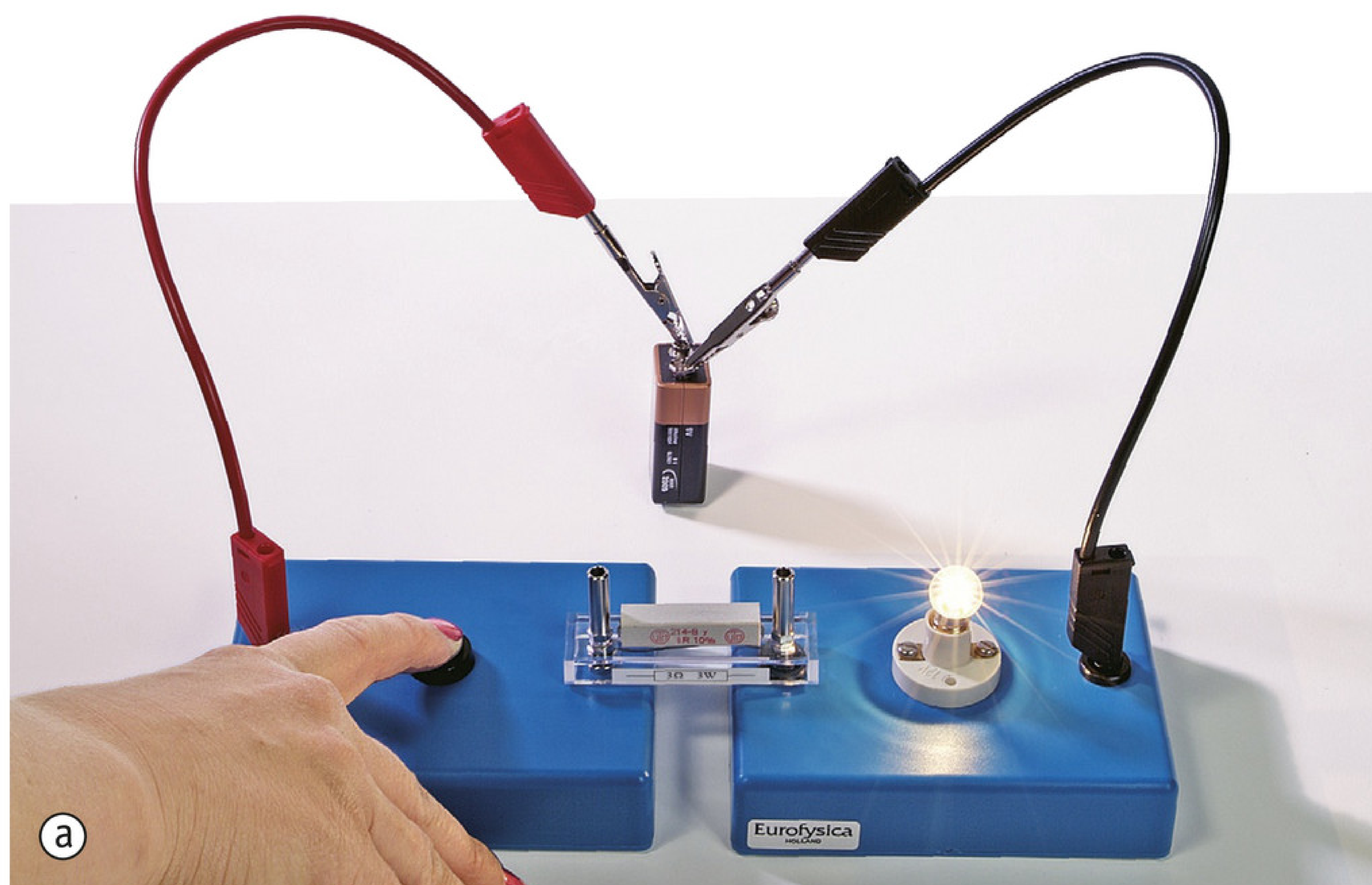
In computers en televisies kom je ingewikkelde schakelingen tegen met honderden componenten. Elke component heeft één bepaalde spanning nodig. Bovendien mag de stroomsterkte door sommige componenten niet te groot worden. Een ontwerper kan dat precies regelen door het toevoegen van een of meer weerstanden.

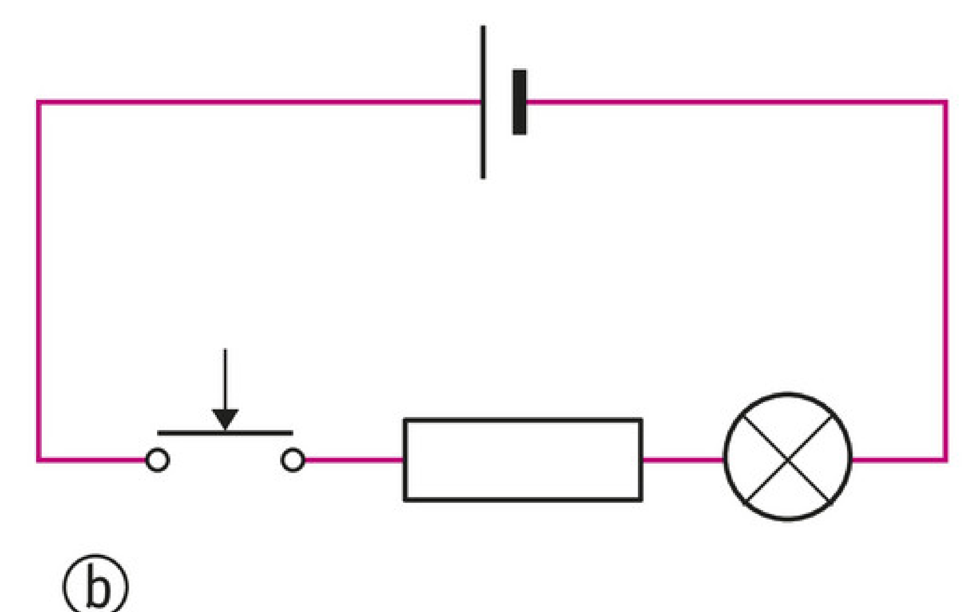
Werken met weerstanden

Als je een 6V-lampje aansluit op een spanning van 9 V, wordt de stroomsterkte te groot en brandt het lampje door. Je kunt dat vermijden door de totale weerstand van de schakeling groter te maken. Daarvoor plaats je een weerstand in serie met het lampje (figuur 25a). In schakelschema's teken je een component met een constante weerstand als een rechthoekje (figuur 25b).

Let op: het woord 'weerstand' heeft dus twee betekenissen. Het verwijst naar een voorwerp (een component in een schakeling), maar ook naar een grootheid (het aantal ohm). Je ziet dat terug in de volgende zin: "Deze weerstand heeft een weerstand van 6 Ω."

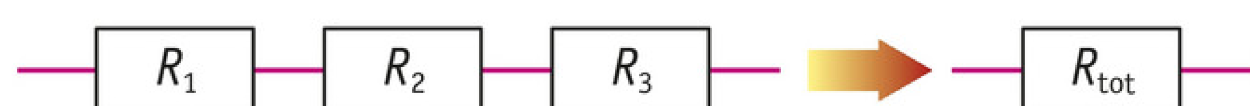
▼ **figuur 25**
De weerstand voorkomt dat het lampje doorbrandt: (a) de opstelling; (b) het schakelschema.





Weerstand in een serieschakeling Proef 4

Als je in een schakeling meer weerstanden in serie zet, neemt de totale weerstand toe en neemt de stroomsterkte daardoor af. Je kunt de **totale weerstand** R_{tot} berekenen door de afzonderlijke weerstanden bij elkaar op te tellen (figuur 26):



▲ **figuur 26**
Weerstanden in serie tel je op.

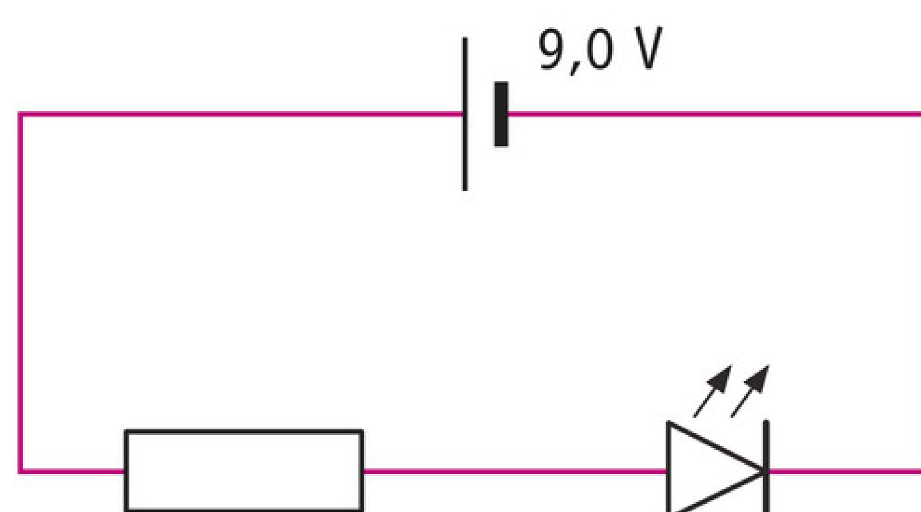
$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

Als je in een schakeling alle weerstanden vervangt door één weerstand met de waarde van R_{tot}, verandert er in de rest van de schakeling niets. Daarom noem je de totale weerstand ook wel de **vervangingsweerstand**.

Stroomsterkte en spanning in een serieschakeling

In een serieschakeling is de stroomsterkte I overal even groot. De spanning verdeelt zich over de verschillende componenten. Als je twee identieke lampjes in serie schakelt en aansluit op een batterij van 9,0 V, brandt elk lampje op 4,5 V. Ze krijgen elk de helft van de bronspanning. Als de twee lampjes een verschillende weerstand hebben, wordt de **bronspanning** U_{tot} niet precies in tweeën verdeeld. Over lampje 1 staat dan een spanning $U_1 = I \cdot R_1$ en over lampje 2 een spanning $U_2 = I \cdot R_2$. Over de grootste weerstand staat dus de grootste spanning. Bij elkaar opgeteld zijn U_1 en U_2 gelijk aan de bronspanning.
Voor een schakeling van weerstanden in serie geldt:

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots$$



▲ figuur 27
Een led wordt in serie geschakeld met een voorschakelweerstand.

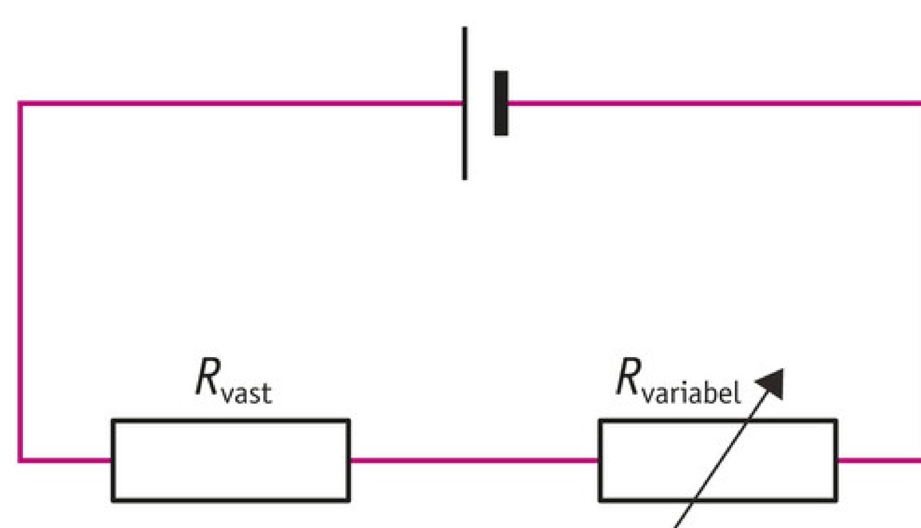
Voorbeeldopgave 3
Op het ledlampje in figuur 27 staat 2,0 V/20 mA. De batterij levert een spanning van 9,0 V.
Bereken de waarde van de weerstand die nodig is om het lampje op de juiste spanning te laten branden.

gegevens
$U_{led} = 2{,}0$ V
$U_{tot} = 9{,}0$ V
$I = 20$ mA $= 0{,}020$ A

gevraagd
$R = ?$

uitwerking
$U_{tot} = U_{led} + U_R$
$9{,}0 = 2{,}0 + U_R$
$U_R = 7{,}0$ V

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{7{,}0}{0{,}020} = 350\ \Omega$$



▲ figuur 28
een vaste en een variabele weerstand in serie

Variabele en vaste weerstand in serie

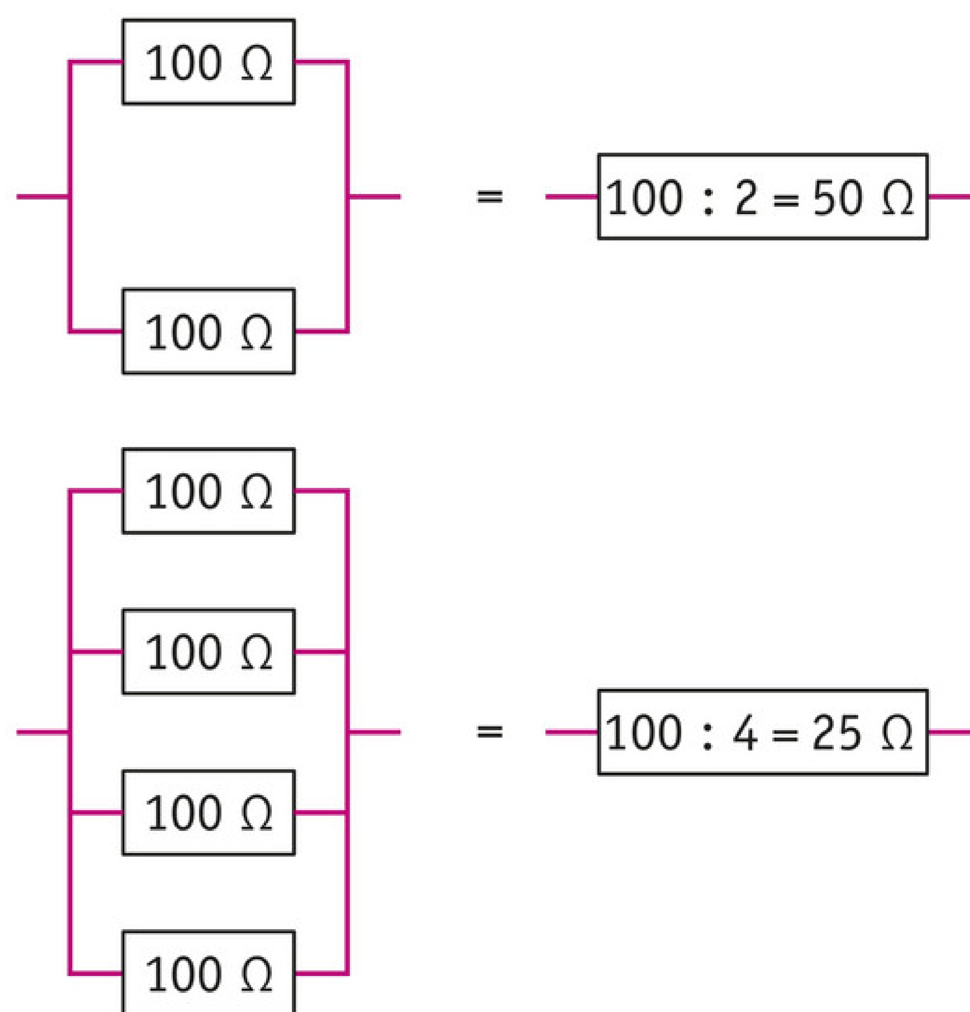
In figuur 28 zie je een schakeling van een vaste en een variabele weerstand in serie. Je maakt de variabele weerstand groter. Hoe verandert dan de spanning over de vaste weerstand? Die vraag kun je op twee manieren beantwoorden:

1 Als je $R_{variabel}$ groter maakt, wordt de totale weerstand groter. De stroomsterkte I neemt dan af. Omdat $U_{vast} = I \cdot R_{vast}$ wordt de spanning over de vaste weerstand kleiner.

2 $R_{variabel}$ is ten opzichte van R_{vast} groter geworden. Daardoor zal er over $R_{variabel}$ een groter deel van de spanning van 9 V staan. De spanning over R_{vast} zal dan kleiner zijn.

Als je de vaste weerstand door een lampje zou vervangen, heb je een schakeling waarmee je een lampje kunt dimmen.

Weerstand in een parallelschakeling Proef 5



▲ **figuur 29**
De vervangingsweerstand wordt kleiner als je meer weerstanden parallel zet.

Als je meer weerstanden parallel aansluit op een bron, neemt het aantal vertakkingen toe. De stroomsterkte die de bron levert, wordt groter. De weerstand die de bron ondervindt bij het rondpompen van de stroom wordt dus kleiner. De totale weerstand van de schakeling wordt dan niet groter, zoals bij een serieschakeling, maar juist kleiner (figuur 29).
Je kunt de totale weerstand R_{tot} van een parallelschakeling berekenen met de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Uit deze formule volgt dat de totale weerstand of vervangingsweerstand altijd kleiner is dan elk van de afzonderlijke weerstanden (R_1, R_2, enzovoort).

Voorbeeldopgave 4
Esther schakelt een weerstand van 55 Ω parallel aan een weerstand van 145 Ω.
Bereken de vervangingsweerstand.

gegevens $R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$

gevraagd $R_{tot} = ?$

uitwerking $$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{55} + \frac{1}{145}$$

$$= 0{,}01818\ldots + 0{,}00689\ldots = 0{,}0250\ldots$$

$$R_{tot} = \frac{1}{0{,}0250\ldots} = 39{,}875 = 40\ \Omega$$

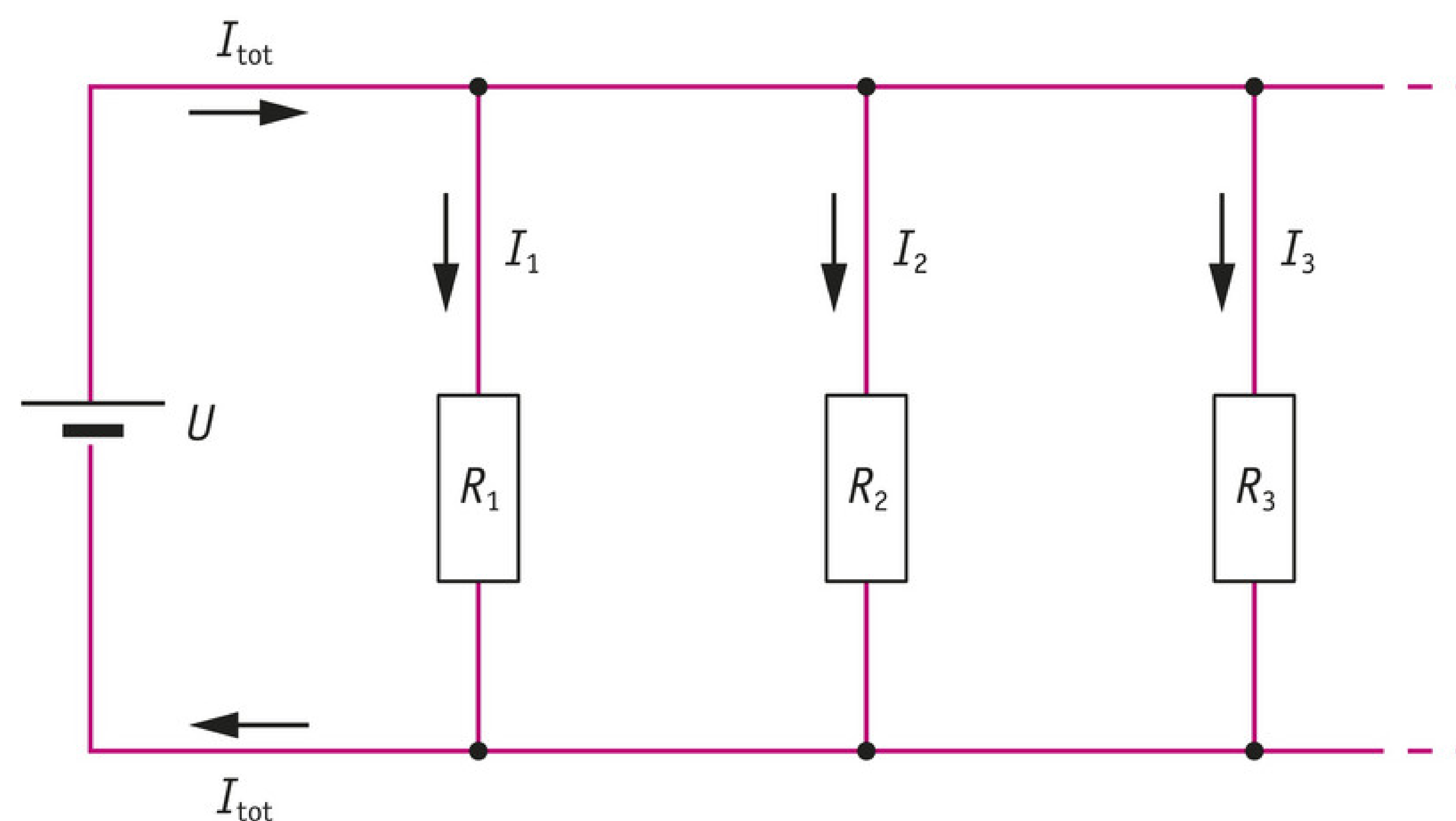
Stroomsterkte en spanning in een parallelschakeling

In een parallelschakeling is elke component rechtstreeks met de spanningsbron verbonden. Over elke component staat dus de volledige bronspanning U_{tot}. Voor de spanning geldt:

$$U_{tot} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$

De stroom verdeelt zich bij een parallelschakeling over de verschillende vertakkingen (figuur 30). De **totale stroomsterkte** is de stroomsterkte in het niet-vertakte gedeelte: de aan- en afvoerleidingen waar alle stroom doorheen moet.
Je kunt de totale stroomsterkte berekenen met de formule:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$



▶ figuur 30
Bij een parallelschakeling verdeelt de stroom zich.

Voorbeeldopgave 5
Bereken de totale stroomsterkte in de schakeling uit voorbeeldopgave 4 als de bronspanning 9,0 V is.

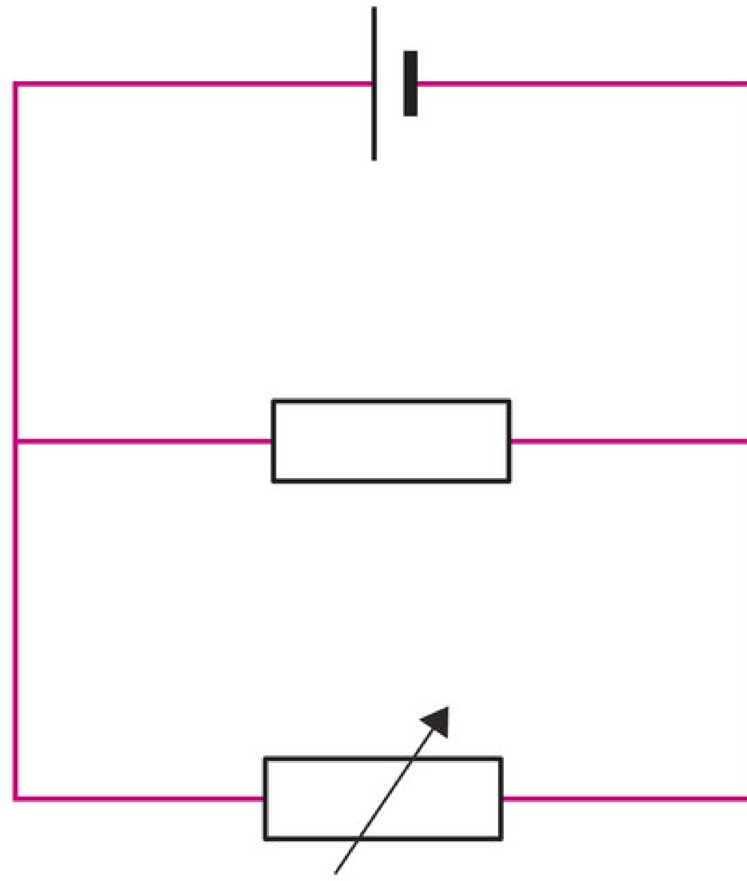
gegevens
$R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$
$U = 9{,}0\ \text{V}$

gevraagd
$I_{tot} = ?$

uitwerking
Je weet al dat de totale weerstand $R_{tot} = 39{,}875\ \Omega$.

$$I_{tot} = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{9{,}0}{39{,}875} = 0{,}22570 = 0{,}23\ \text{A}$$

Je kunt ook de grootte van I_1 en I_2 apart uitrekenen en die optellen. Dan vind je dezelfde waarde voor de totale stroom.



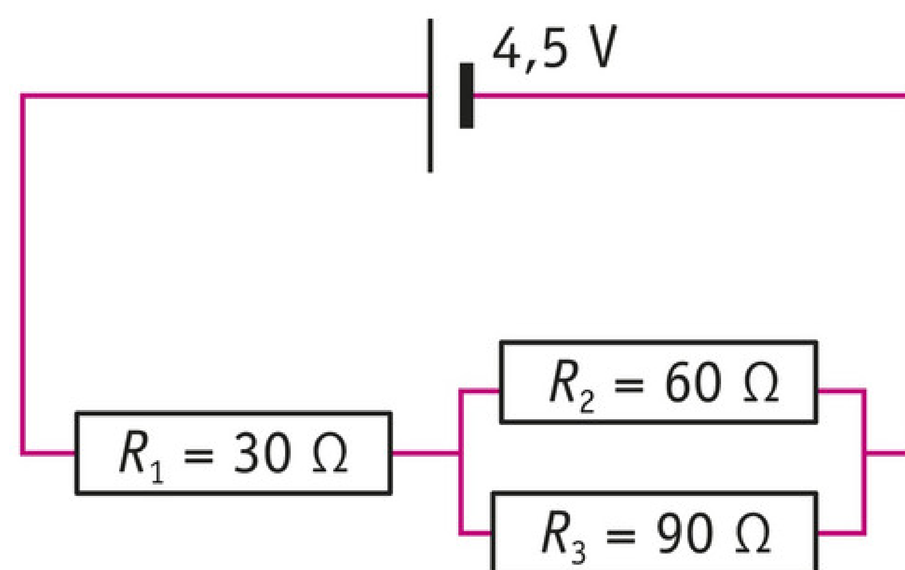
▲ figuur 31
een vaste en een variabele weerstand parallel

Variabele en vaste weerstand parallel

In figuur 31 zie je een schakeling waarin een vaste en een variabele weerstand parallel staan. Als je de $R_{variabel}$ groter maakt, wordt de stroomsterkte door de variabele weerstand kleiner. Bij de vaste weerstand verandert er niets. Daar blijft de stroomsterkte dus even groot. De totale stroomsterkte wordt dan kleiner en dus is de totale weerstand groter geworden.
Je kunt ook met de formule redeneren: als je $R_{variabel}$ groter maakt, wordt $1 : R_{variabel}$ kleiner. Dan wordt $1 : R_{tot}$ kleiner en dus R_{tot} groter.

Gemengde schakelingen

In gemengde schakelingen komen zowel parallel als in serie geschakelde weerstanden voor. Als je hiervoor de totale stroomsterkte wilt uitrekenen, moet je eerst de vervangingsweerstand uitrekenen.



▲ figuur 32
een gemengde schakeling

Voorbeeldopgave 6
Drie weerstanden zijn geschakeld zoals in figuur 32.
Bereken hoe groot de stroomsterkte is door het weerstandje van 90 Ω.

gegevens
weerstand $R_2 = 60\ \Omega$ en $R_3 = 90\ \Omega$ parallel
weerstand $R_1 = 30\ \Omega$ in serie daarmee
$U_{bron} = 4{,}5$ V

gevraagd
$I_3 = ?$

uitwerking
stap 1: Eerst reken je de vervangingsweerstand uit van de twee parallelle weerstanden R_2 en R_3.
$1 : R_{2\text{-}3} = 1 : 60 + 1 : 90 = 3 : 180 + 2 : 180 = 5 : 180$.
Daaruit volgt $R_{2\text{-}3} = 180 : 5 = 36\ \Omega$.

stap 2: De totale weerstand berekenen.
$R_{tot} = 36 + 30 = 66\ \Omega$

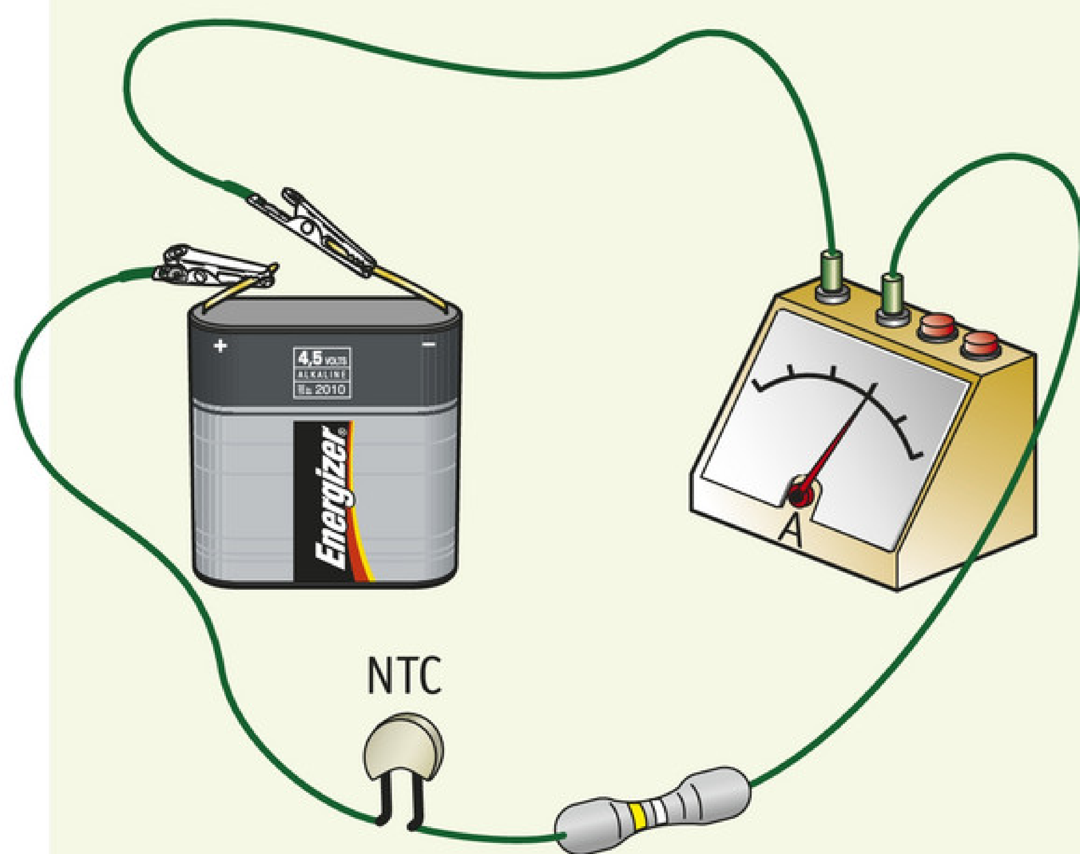
stap 3: De totale stroomsterkte I_{tot} berekenen.
$I_{tot} = U_{tot} : R_{tot} = 4{,}5 : 66 = 0{,}0682$ A

stap 4: De spanning over R_1 berekenen.
$U_1 = I_{tot} \cdot R_1 = 0{,}0682 \times 30 = 2{,}05$ V
(nog niet te veel afronden!)

stap 5: De spanning over R_2 en R_3 berekenen.
$U_2 = U_3 = U_{tot} - U_1 = 4{,}5 - 2{,}05 = 2{,}45$ V

stap 6: De stroom door R_3 berekenen.
$I_3 = U_3 : R_3 = 2{,}45 : 90 = 0{,}027$ A = 27 mA

Je kunt de stappen 4 t/m 6 ook vervangen door een redenering met verhoudingen.



▲ **figuur 33**
de schakeling van een elektrische thermometer

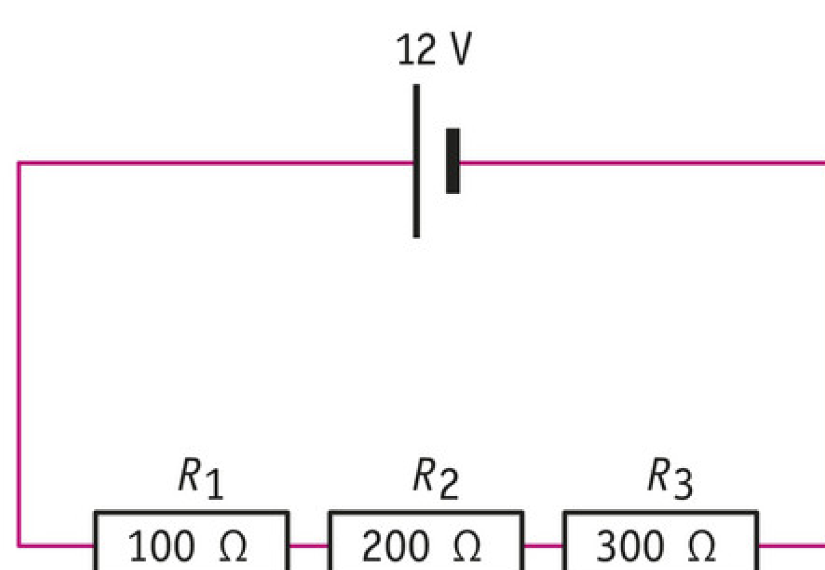
Plus Meetschakelingen

Vloeistofthermometers moet je aflezen. Dat is niet handig als je een thermometer wilt inbouwen in een elektronische schakeling. Dan kun je beter een schakeling met een NTC gebruiken. In figuur 33 zie je een schakeling die je op school kunt bouwen. De NTC breng je aan op de plaats waar je de temperatuur wilt meten. Als de temperatuur gaat stijgen, neemt de weerstand van de NTC af en neemt de totale stroomsterkte toe. Met een ijking vervang je daarna de schaalverdeling op de stroommeter door een schaalverdeling in graden Celsius. Daarvoor heb je wel een thermometer nodig die al geijkt is.
In plaats van een NTC zou je ook een PTC kunnen gebruiken en in plaats van de stroom kun je ook de spanning meten.
Met een zelfde soort schakeling kun je ook een lichtsterktemeter maken. Je moet dan de NTC vervangen door een LDR.

opgaven

25 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe kun je een 6V-lampje aansluiten op een batterij van 9 V zonder dat het doorbrandt?
- **b** Hoe verandert de totale weerstand van een serieschakeling als je het aantal weerstanden vergroot?
- **c** Waarom noem je de totale weerstand ook wel ‘de vervangingsweerstand’?
- **d** Met welke formule kun je de vervangingsweerstand berekenen van drie parallel geschakelde weerstanden?

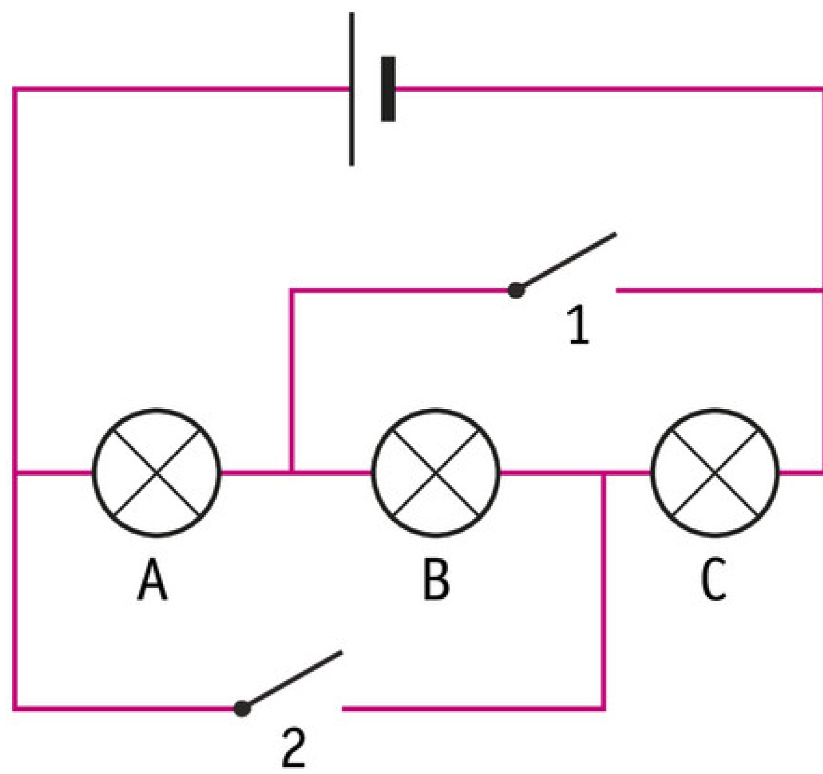
26 In welk soort schakeling:
- **a** is de stroomsterkte overal in de schakeling even groot?
- **b** splitst de stroom zich bij elke vertakking in de schakeling?
- **c** staat de volledige bronspanning over elke component?
- **d** verdeelt de spanning zich over alle componenten?



▲ **figuur 34**
een serieschakeling

27 In figuur 34 zie je een serieschakeling van drie weerstanden.
Bereken de stroomsterkte.

28 De accu van een scooter levert 6,0 V. De koplamp (R = 20 Ω) en het achterlicht (R = 120 Ω) zijn parallel geschakeld.
- **a** Bereken de vervangingsweerstand.
- **b** Bereken de totale stroomsterkte.



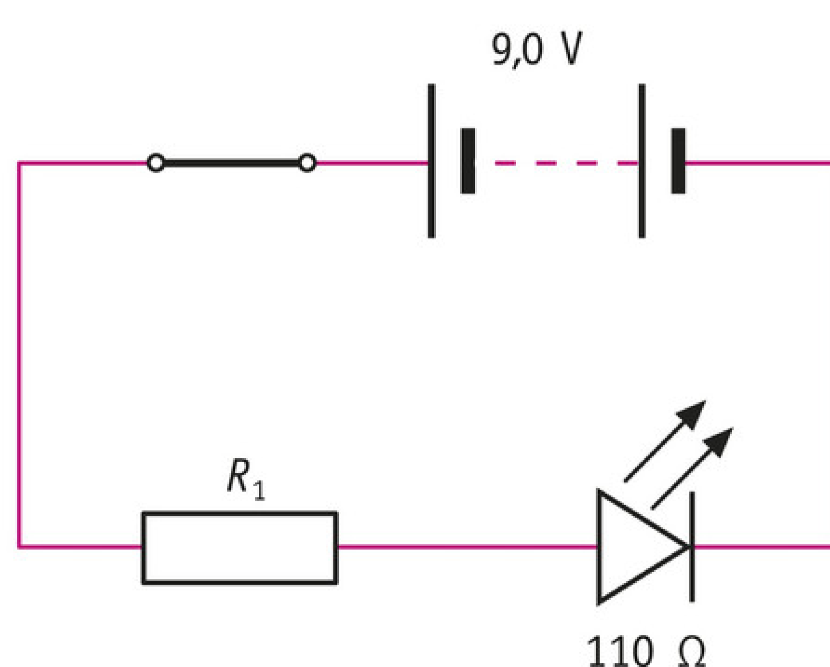
▲ figuur 35
een schakeling met drie lampjes

29 In de schakeling van figuur 35 zijn drie gelijke lampjes opgenomen. Als alleen schakelaar 1 gesloten is, brandt lampje A op normale sterkte.
Zijn er andere lampjes die op normale sterkte branden als ook schakelaar 2 wordt gesloten?
A nee
B ja, alleen lampje B
C ja, alleen lampje C
D ja, zowel lampje B als C
Naar: IJSO

30 Een ouderwetse kerstboomverlichting bestaat uit 23 in serie geschakelde gloeilampjes (figuur 36). Op elk lampje staat: 10 V/0,3 A. Je sluit het geheel aan op 230 V.
a Leg uit waarom elk lampje op de juiste spanning brandt.
b Bereken de weerstand van één lampje.
c Bereken de totale weerstand van alle lampjes samen.
d Controleer met je antwoord op c of de stroomsterkte inderdaad 0,3 A is.


▶ figuur 36
Sommige kerstverlichting bestaat uit een aantal in serie geschakelde gloeilampjes.

31 Je maakt een parallelschakeling van een variabele weerstand en een ledlampje.
Leg uit dat je met deze schakeling geen lichtdimmer kunt maken.



▲ figuur 37
een led met een voorschakelweerstand

32 Een zendermicrofoon werkt op een batterij van 9,0 V. Als je de spanning inschakelt, gaat er een led branden (figuur 37). De voorschakelweerstand R_1 zorgt ervoor dat de led niet doorbrandt. De stroomsterkte door de led is dan 18 mA. De weerstand van de led is dan 110 Ω.
Bereken de waarde van weerstand R_1.

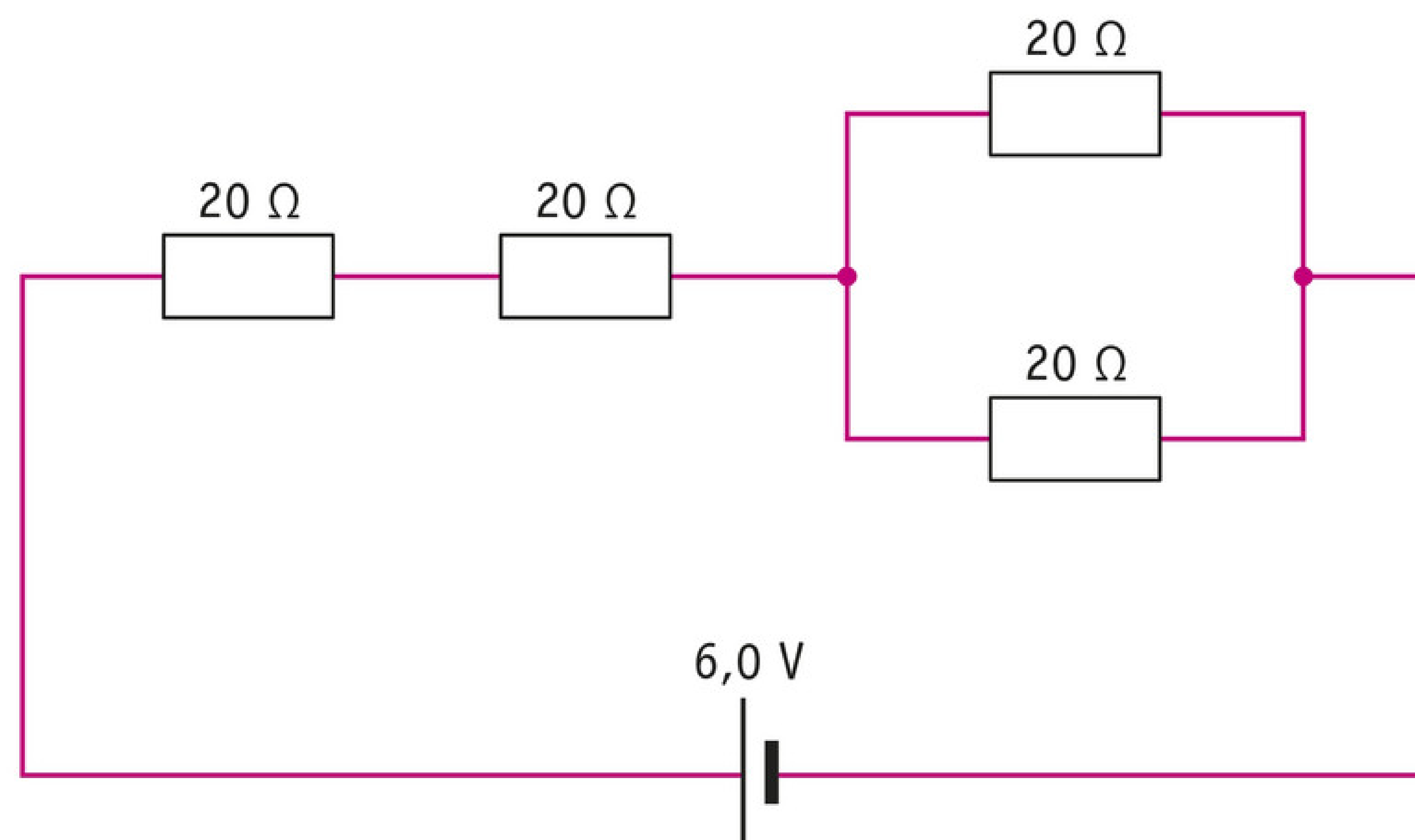
33 Je schakelt een weerstand van 60 Ω, een van 40 Ω en een onbekende weerstand *R* parallel. De totale weerstand van deze schakeling is 15 Ω.
Bereken de waarde van *R*.

34 Guusje heeft vier identieke weerstanden van 20 Ω. Ze maakt daarmee de combinatie van figuur 38 en sluit deze aan op een spanning van 6,0 V.

a Bereken de totale stroomsterkte.

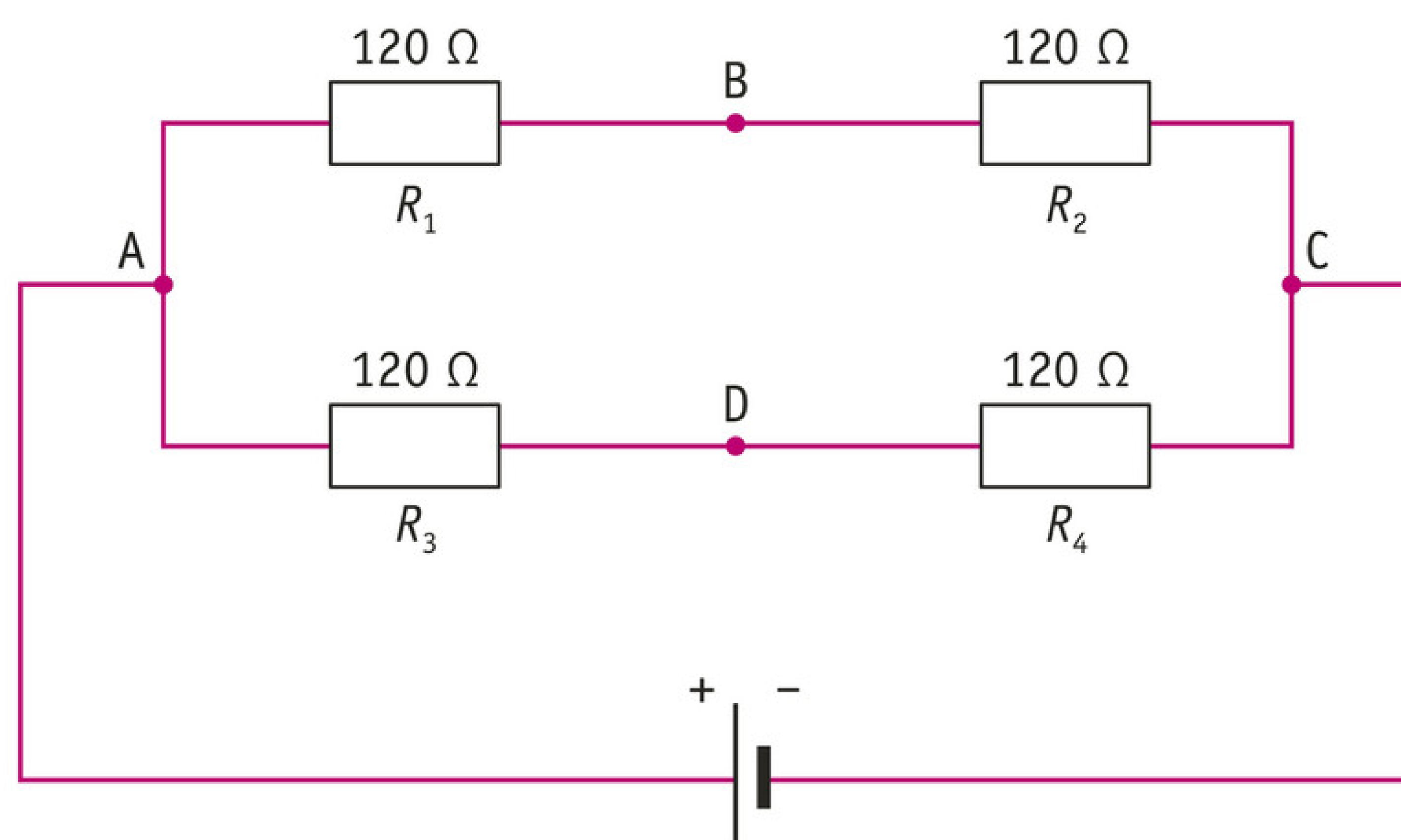
b Bereken de grootste en de kleinste totale weerstand die je met deze vier weerstandjes kunt maken.

c Hoeveel verschillende waarden voor de vervangingsweerstand kun je realiseren met deze vier weerstandjes?



▶ **figuur 38**
de weerstandscombinatie van Guusje

35 De schakeling van figuur 39 wordt aangesloten op een spanningsbron van 240 V. Tussen de spanningsbron en punt A wordt een ampèremeter in de schakeling opgenomen.
Bereken hoe groot de stroom is die door de ampèremeter gemeten wordt. Laat je berekening zien.
Naar: IJSO



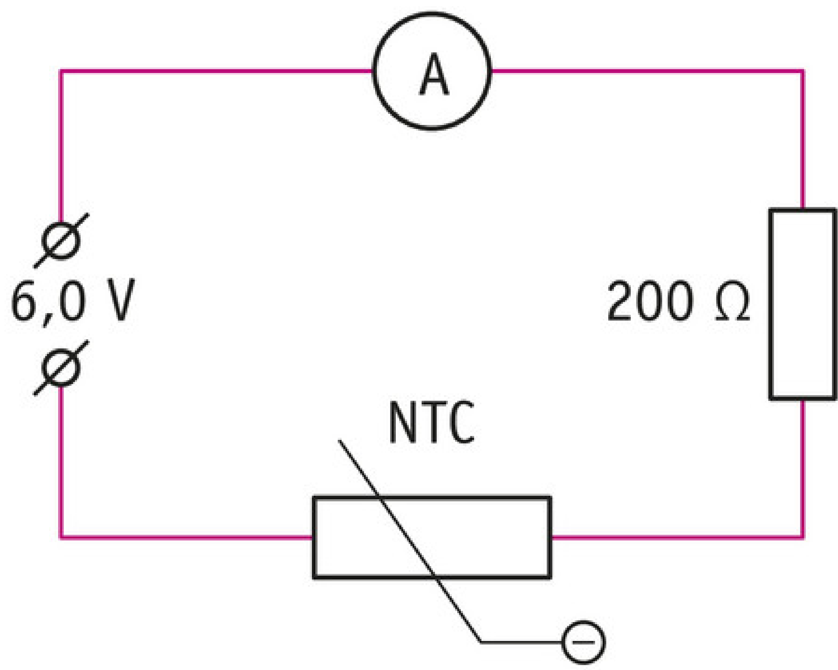
▶ **figuur 39**
een schakeling met vier weerstanden

***36** Wilma en Theo willen een schakeling bouwen met een led. De led geeft optimaal licht bij een stroomsterkte van 19 mA. De weerstand van de led is dan 80 Ω. Verder hebben Wilma en Theo de beschikking over:
- een batterij van 4,5 V;
- drie weerstandjes van 330 Ω;
- één weerstandje van 47 Ω.

a Bereken de grootte van de voorschakelweerstand die Wilma en Theo in de schakeling moeten opnemen.

b Geef in een tekening weer op welke manier Wilma en Theo de weerstandjes moeten combineren om de led optimaal te laten werken.

***37** Beredeneer (dus zonder voorbeelden te gebruiken) dat de vervangingsweerstand bij parallel geschakelde weerstandjes altijd kleiner is dan de kleinste van de gebruikte weerstandjes.



▲ **figuur 40**
Met deze schakeling kun je de temperatuur in een frituurpan meten.

Plus Meetschakelingen

38 In figuur 40 zie je een schakeling waarmee de temperatuur van de olie in een frituurpan wordt gemeten.

a In de grafiek van figuur 41 zie je hoe de weerstand van de NTC afhangt van de temperatuur.
Neem tabel 5 over en vul kolom 2 in met behulp van de grafiek.

b Bereken de totale weerstand en noteer die in kolom 3.

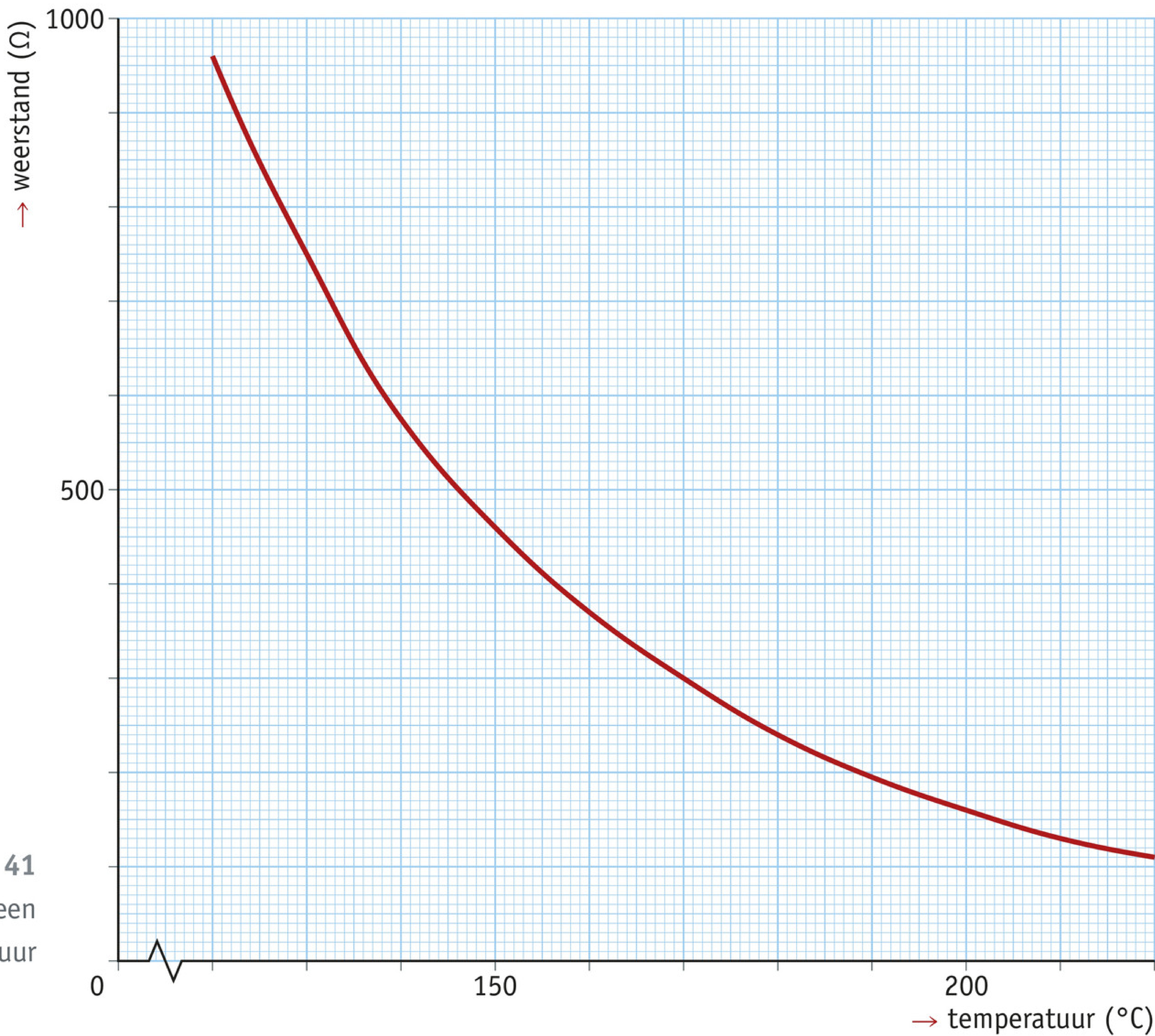
c Bereken de stroomsterkte en noteer die in kolom 4.

d In figuur 42 is de schaalverdeling van de gebruikte stroommeter getekend.
Neem deze over en zet boven de schaalverdeling een indeling in graden Celsius.

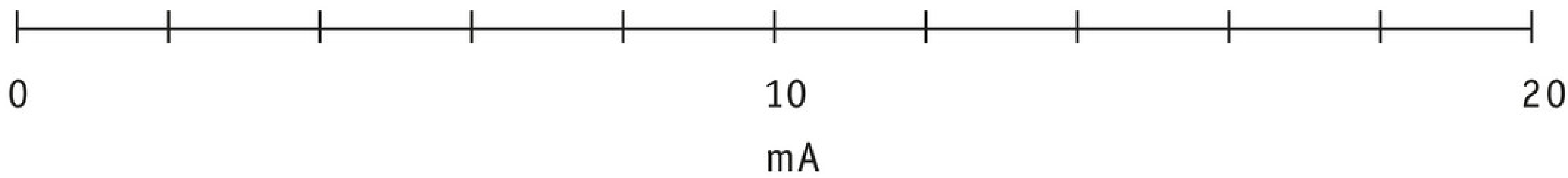
e Waarom is er een weerstandje in serie geschakeld met de NTC?

▼ **tabel 5** de temperatuur meten met een NTC

temperatuur (°C)	weerstand NTC (Ω)	totale weerstand (Ω)	stroomsterkte (mA)
150			
160			
enzovoort			



▶ **figuur 41**
verloop van de weerstandswaarde van een NTC tegen de temperatuur



▶ **figuur 42**
een schaalverdeling

4 Schakelingen in de automatisering

Veel auto's hebben tegenwoordig een inbraakalarm. Als een autodief probeert de deuren te forceren, begint een sirene te loeien en gaan de knipperlichten aan. Vaak activeert zo'n alarm ook een startonderbreking en blokkeert het de brandstofvoorziening. Een alarm is een voorbeeld van een automatisch werkend systeem.

Systemen

Een inbraakalarm kun je bekijken als een **systeem**: een ontwerp dat een bepaalde taak moet vervullen. Dergelijke systemen kennen altijd drie gedeelten: **invoer** (of input), **verwerking** en **uitvoer** (of output). Tussen die drie 'blokken' worden **signalen** doorgegeven als kleine elektrische spanningen.
Als er geen signaal is, is de spanning 0 V; dan noem je het signaal laag of 0. Als de spanning maximaal is (bijvoorbeeld 5 V), dan noem je het signaal hoog of 1.
Een systeem kun je weergeven met een **blokschema** (figuur 43) waarbij pijlen de signalen weergeven.



▲ **figuur 43**
een blokschema

Sensor – verwerker – actuator

In elk van de drie delen van een systeem worden componenten gebruikt om een bepaalde taak te vervullen:
- invoer: sensoren;
- verwerking: verwerkers (verwerkingseenheden);
- uitvoer: actuatoren.

Een **sensor** (van het Latijnse *sentire* = 'met een zintuig waarnemen') meet een grootheid uit de omgeving van het systeem. Er zijn veel verschillende sensoren, bijvoorbeeld voor temperatuur, voor lichtsterkte, voor druk, voor beweging, voor warmtestraling, enzovoort.
De sensor geeft het meetresultaat als een elektrisch signaal door aan de **verwerker**. Die heeft een ingebouwde instructie, bijvoorbeeld: "Als het sensorsignaal hoger is dan 2,3 V, maak je er een hoog signaal (1) van. Is die lager dan 2,3 V, dan maak je er een laag signaal van (0)." De verwerker stuurt een signaal naar de **actuator** (van het Latijnse *agere* = 'handelen'). Als dat signaal een 1 is, onderneemt de actuator actie. Is het signaal een 0, dan doet hij niets. Een actie is bijvoorbeeld het omzetten van een schakelaar waardoor een lamp gaat branden.

Stuur- en meetsystemen

Bij systemen zoals het auto-alarm worden apparaten 'aangestuurd' (lichten, zoemers). Zo'n systeem noem je een **stuursysteem**. Er zijn ook systemen waarbij het doel is om de gebruiker te laten zien hoe groot een bepaalde grootheid is. Vaak gaat dat met een display waarop een getal zichtbaar is. Zo'n systeem noem je een **meetsysteem**. Voorbeelden zijn digitale thermometers en snelheidsmeters in auto's.

Voorbeeldopgave 7

Veel mensen hebben een buitenlamp aan de muur van hun huis die aangaat als er iemand dichtbij komt. Maar dat gebeurt alleen als het buiten donker is.

1 Welk soort systeem is dit?
2 Welke sensoren zijn er nodig?
3 Teken het blokschema van dit systeem en noteer in elk blok wat er gebeurt.

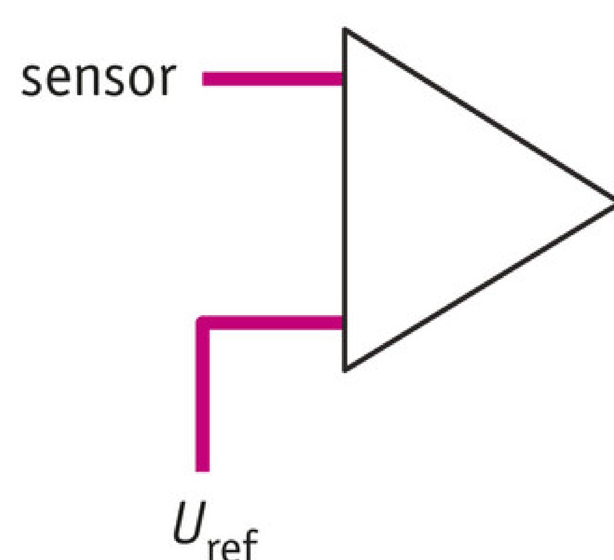
uitwerking

1 De lamp wordt aangestuurd, dus het is een stuursysteem.
2 In de invoer is een lichtsensor nodig om vast te stellen of het donker is of niet. Verder is er een sensor nodig die vaststelt of er iemand in de buurt is. Dat kan een bewegingssensor of een infraroodsensor zijn.
3 Het blokschema staat in figuur 44.



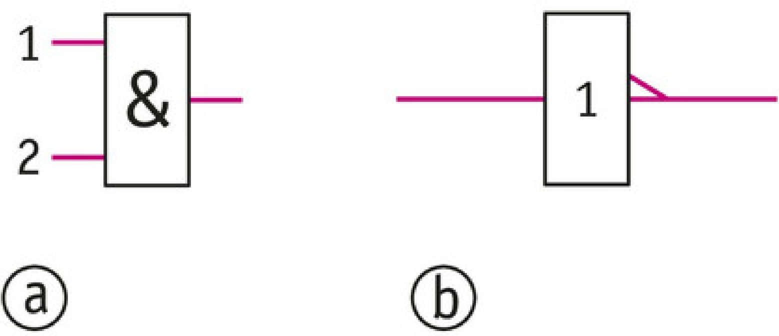
▶ **figuur 44**
het blokschema van een buitenlamp

Comparator Proef 6



▲ **figuur 45**
het symbool van de comparator

In de verwerking van het systeem 'buitenlamp' wordt onderzocht of de lichtsterkte buiten onder een bepaalde waarde zit. Dat kan met een comparator. Een **comparator** (van het Latijnse *comparare* = 'vergelijken') vergelijkt de spanning van het sensorsignaal met de vooraf ingestelde spanning. Als je de comparator bijvoorbeeld instelt op 2,5 V en de sensorspanning is 2,3 V, dan zet de comparator op de uitgang een lage spanning en dus een 0. Bij een sensorspanning groter dan 2,5 V zet hij een 1 op de uitgang.
Het symbool van de comparator staat in figuur 45. Je ziet dat er twee ingangen zijn (één voor de sensor en één voor de ingestelde waarde U_{ref}) en één uitgang.



▲ **figuur 46**
symbool van EN-poort (a) en invertor (b)

▼ **tabel 6** de EN-poort

ingang 1	ingang 2	uitgang
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

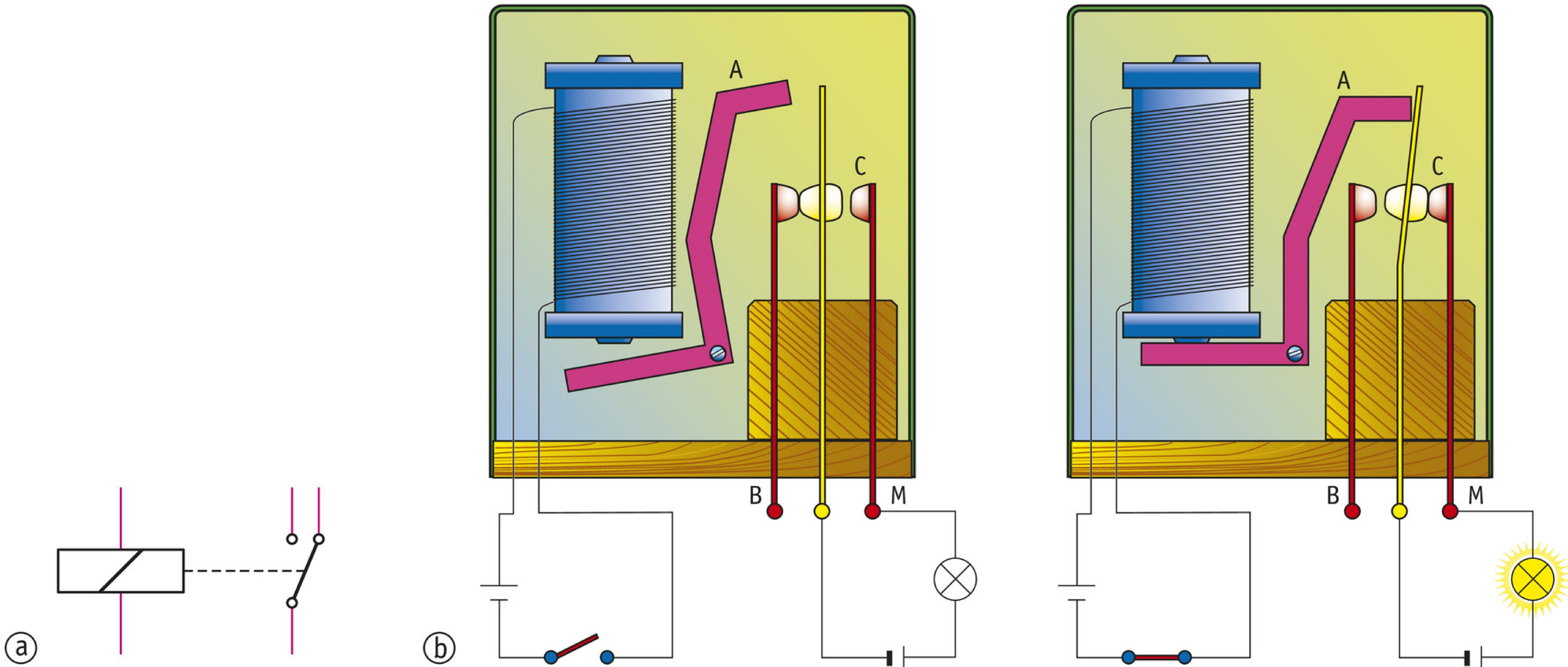
Verwerking

Voor de buitenlamp heb je twee comparators nodig: één om te onderzoeken of het donker is en één om te onderzoeken of er iemand staat. Alleen als beide comparators een 1 geven, moet de lamp aangaan. Daarvoor gebruik je een **EN-poort**. Deze heeft twee ingangen en één uitgang (figuur 46a). In tabel 6 zie je wat deze poort doet: alleen bij een 1 op beide ingangen komt er een 1 op de uitgang.

Het signaal van de lichtsensor van de buitenlamp neemt af als het donker wordt. Als de ingestelde waarde is bereikt, verandert de comparator de uitgang van 1 naar 0. Maar dan werkt de schakeling niet. Hij moet juist van 0 naar 1 veranderen. Dat probleem los je op met een **invertor**. Die maakt van een 0 een 1 en van een 1 een 0. Bij de lichtsensor moet je dus na de comparator een invertor plaatsen. Het symbool van de invertor vind je in figuur 46b.

Uitvoer: relais

Een hoog signaal van de verwerker moet de buitenlamp aanzetten. Maar de spanning en stroomsterkte van de verwerker zijn veel te laag om een lamp te laten branden. Een **relais** lost dat probleem op. De stroom van het hoge signaal (1) van de verwerker loopt door de elektromagneet in figuur 47. Die sluit dan een andere stroomkring. Daarin kunnen stroom en spanning veel groter zijn dan de stroom van de verwerker. Een relais is dus een schakelaar die met een kleine stroom kan worden in- en uitgeschakeld.



▲ **figuur 47**
het relais: (a) symbool; (b) werking

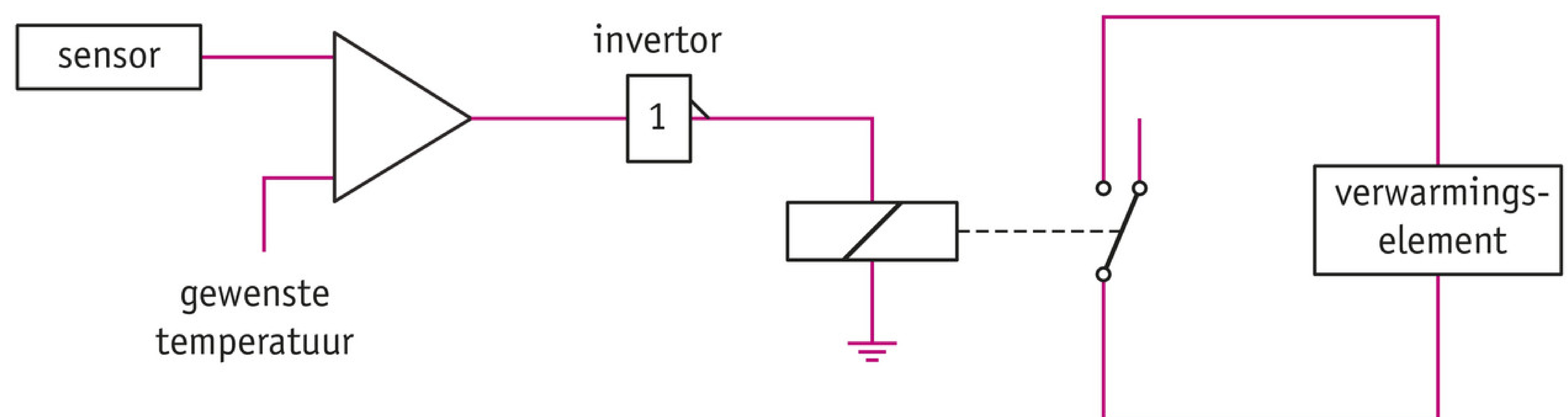
Regelsystemen

Een derde soort systeem is het **regelsysteem**. Zo'n systeem zorgt ervoor dat een bepaalde grootheid op een constante waarde wordt gehouden. Een voorbeeld is de thermostaat van de centrale verwarming: dit systeem houdt de temperatuur in de kamer op de waarde die je op de thermostaat hebt ingesteld.
Een regelsysteem heeft altijd een **terugkoppeling**. In het blokschema van het regelsysteem in figuur 48 zie je dat als een pijl van uitvoer naar invoer.



▲ **figuur 48**
het blokschema van een regelsysteem

In figuur 49 zie je het regelsysteem voor de temperatuur in een ruimte, weergegeven met symbolen. Als de temperatuur daalt, geeft de sensor een lager signaal aan de comparator. Deze geeft dan een 0, maar omdat het de bedoeling is dat het verwarmingselement dan juist aangaat, is er een invertor nodig. Als de temperatuur weer wat is gestegen, zal de comparator een 1 geven en gaat het verwarmingselement weer uit.

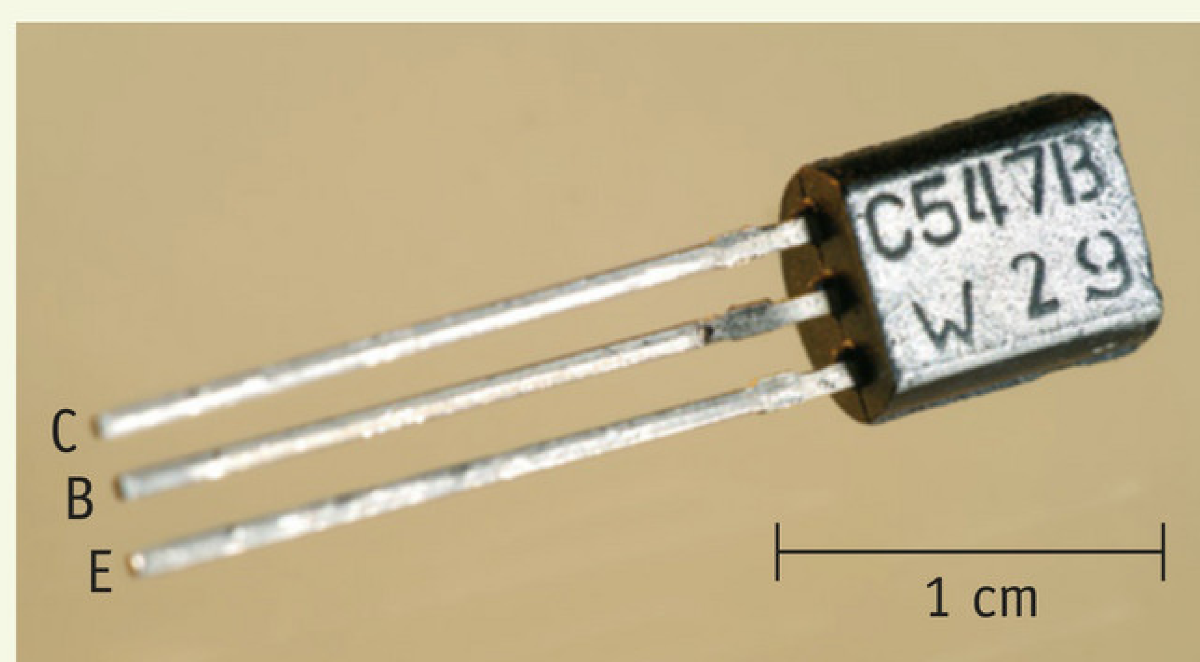


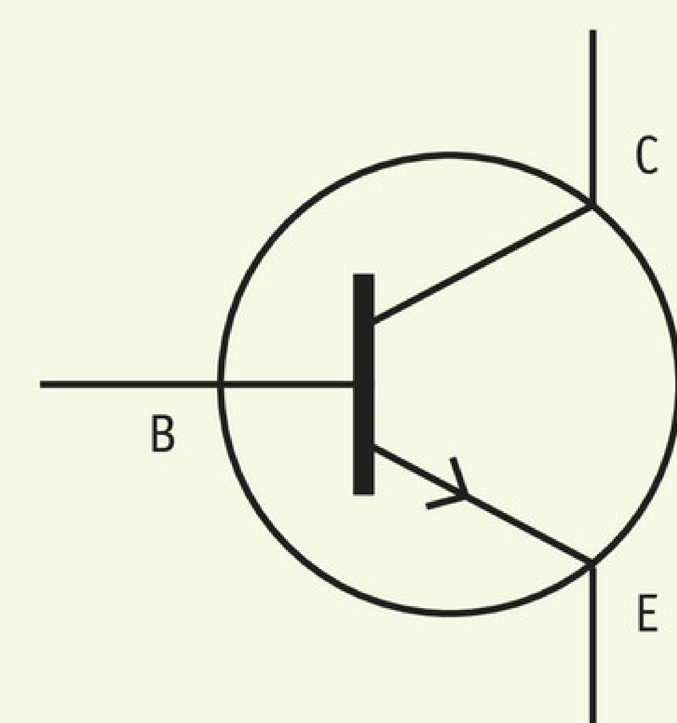
▶ **figuur 49**
een regelsysteem voor temperatuur

Plus De transistor

De transistor wordt wel de belangrijkste uitvinding van de twintigste eeuw genoemd. Transistoren vormen de basis van de moderne elektronica en spelen daarom een belangrijke rol in bijna alle moderne apparaten. Dat geldt niet alleen voor telefoons, televisies of tablets maar ook voor auto's, keukenovens en stofzuigers. Je kunt de werking van een **transistor** vergelijken met die van een slagboom. Zoals een slagboom het verkeer op een weg doorlaat of juist tegenhoudt, zo doet een transistor dat met de stroom.

Een transistor heeft drie aansluitpunten (figuur 50):
- de **collector** (C);
- de **basis** (B);
- de **emitter** (E).

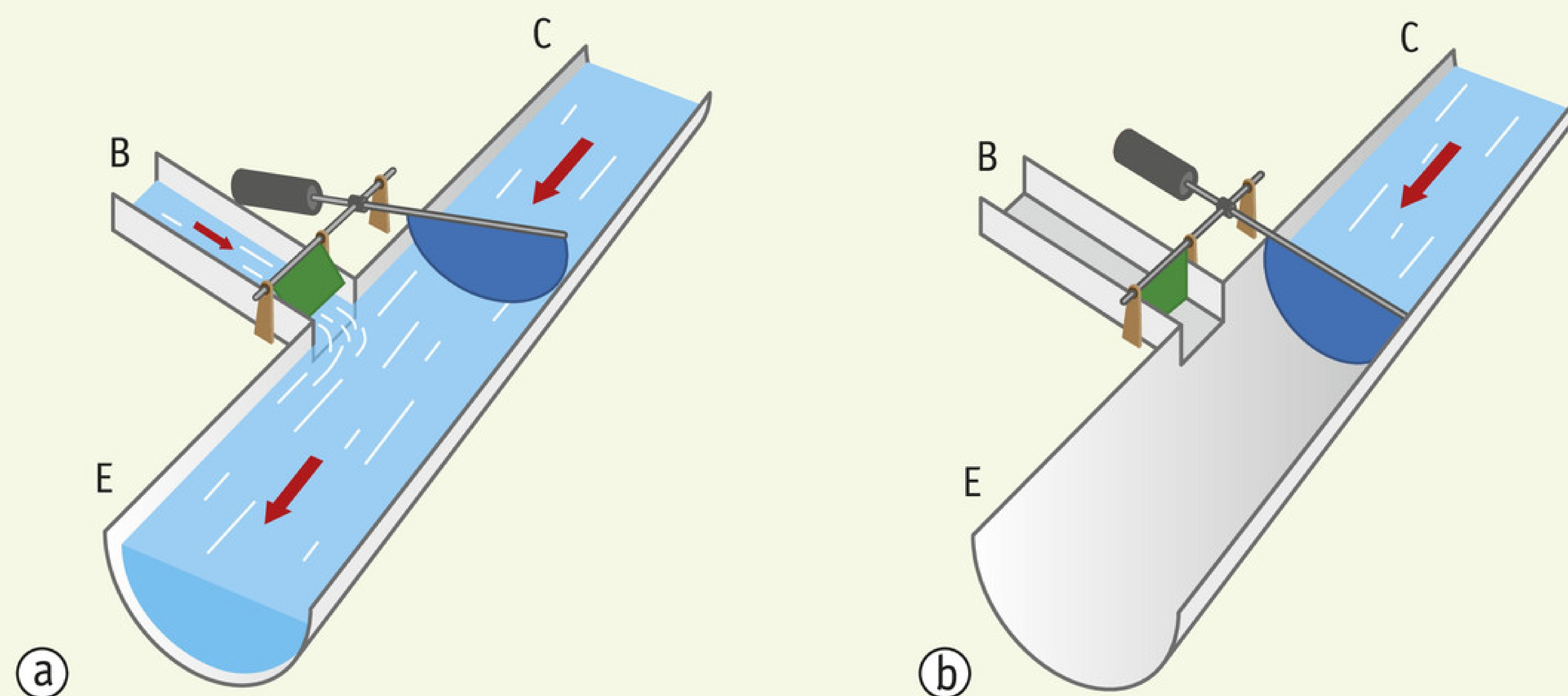




▶ **figuur 50**
een transistor met daarnaast het bijbehorende schakelsymbool

De transistor staat in de AAN-stand als er een kleine stroom loopt van de basis naar de emitter. Er kan dan een veel grotere stroom lopen van de collector naar de emitter (figuur 51a).
De transistor staat in de UIT-stand als er geen of maar heel weinig stroom van de basis naar de emitter loopt. Er kan dan geen stroom lopen van de collector naar de emitter (figuur 51b).

Met een klein 'schakelstroompje' (via B naar E) kun je dus een veel grotere 'apparaatstroom' (via C naar E) aan- en uitschakelen. Daarin lijkt een transistor dus veel op een relais.
Een transistor kan gemakkelijk kapotgaan als deze stromen te groot worden. Daarom worden in schakelingen met transistors vaak ook een of meer weerstanden opgenomen. Deze werken dan als stroombegrenzer.



▶ **figuur 51**
een schematische weergave van een transistor in de AAN- en de UIT-stand

opgaven

39 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Uit welke drie onderdelen bestaat een systeem?
- **b** Welke drie soorten systemen zijn er?
- **c** Noem drie voorbeelden van sensoren.
- **d** Wat is de functie van een comparator?
- **e** In welke situaties gebruik je een EN-poort?

40 Hieronder staan negen onderdelen die je in een schakeling kunt gebruiken: *comparator – elektromotor – EN-poort – invertor – LDR – ledlampje – NTC – relais – zoemer*.
Geef van elk onderdeel aan of het hoort bij de invoer, de verwerking of de uitvoer van een systeem.

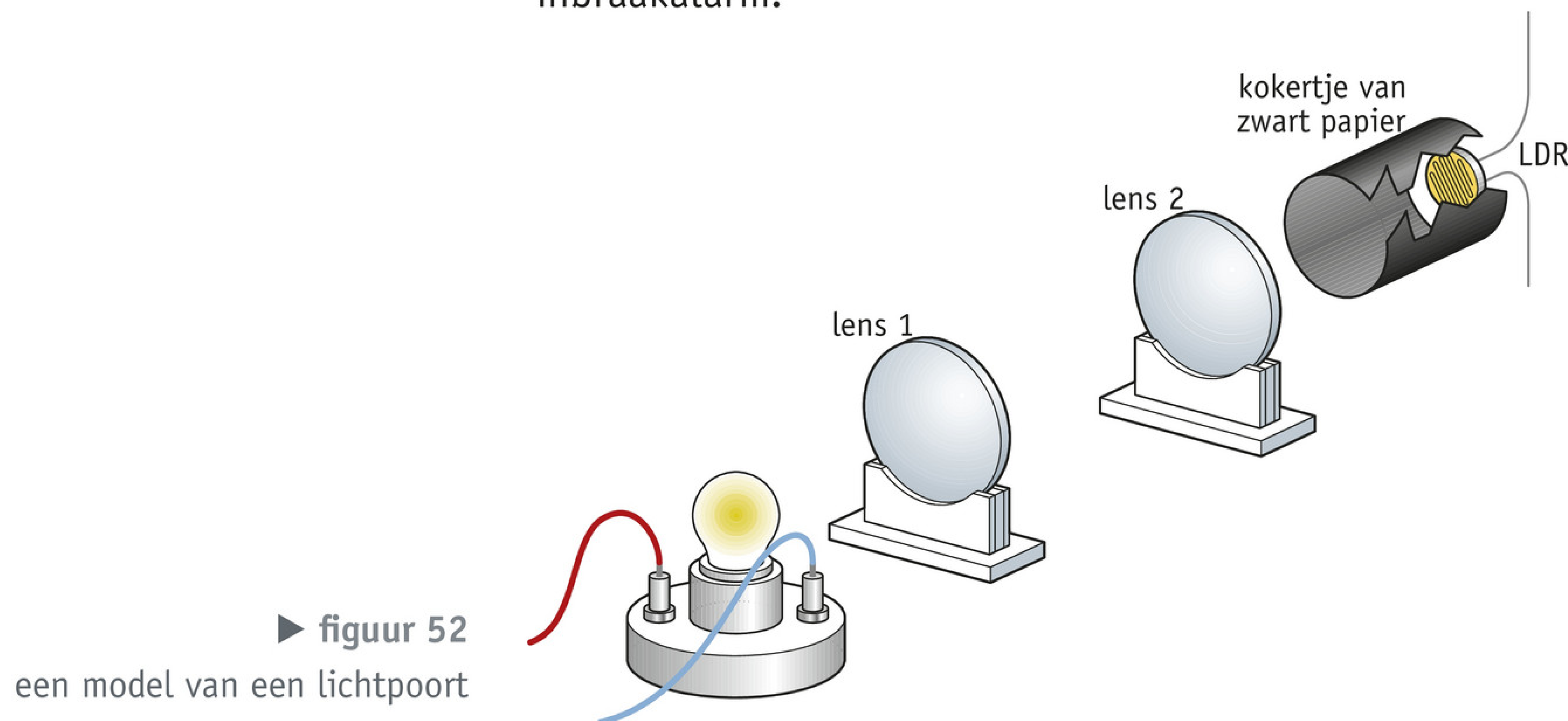
41 Geef bij elk van volgende situaties aan om welk soort systeem het gaat.
- **a** Een oven die op een bepaalde temperatuur blijft.
- **b** Een magnetron waarvan je de opwarmingstijd kunt instellen.
- **c** Een bord langs de weg dat aangeeft hoe snel de auto rijdt.
- **d** Een icoon op het scherm van een laptop dat laat zien hoelang de accu nog stroom kan leveren.
- **e** De cruisecontrol van een auto.
- **f** De ruitenwissers van een auto die automatisch aangaan als het regent.

42 Een inbraakalarm gebruikt een lichtpoort om de aanwezigheid van mensen te detecteren. Zo'n lichtpoort bestaat uit een lichtbron die een dunne lichtbundel produceert en een lichtsensor. Als een inbreker de lichtstraal onderbreekt, gaat het alarm af.

a In figuur 52 is een model van zo'n lichtpoort getekend.
Leg uit:
- waarvoor lens 1 dient.
- waarvoor lens 2 dient.

b Ontwerp een eenvoudig inbraakalarm dat een zoemer laat afgaan, als de lichtstraal wordt onderbroken. Teken het schakelschema van het alarm.

c Je kunt dit alarm ook bouwen met een infraroodlaser en een infrarood-sensor.
Leg uit welk voordeel het gebruik van ir-straling heeft voor een inbraakalarm.



▶ **figuur 52**
een model van een lichtpoort

***43** Een auto-alarmsysteem laat een sirene klinken en de autolampen knipperen als iemand hard aan een van de portieren trekt terwijl de auto nog op slot staat. Dat mag niet gebeuren als iemand een klein duwtje tegen de auto geeft.

a Teken het blokschema van dit systeem. Maak de blokken ongeveer 4 bij 5 cm.

b Schrijf in het invoerblok welke sensoren nodig zijn voor dit systeem.

c Schrijf in het verwerkingsblok welke verwerkers nodig zijn en wat deze moeten doen.

d Schrijf in het uitvoerblok welke actuatoren nodig zijn.

e Is er sprake van terugkoppeling bij dit systeem?

***44** Voorbeeldopgave 7 (bladzijde 258) gaat over een buitenlamp.

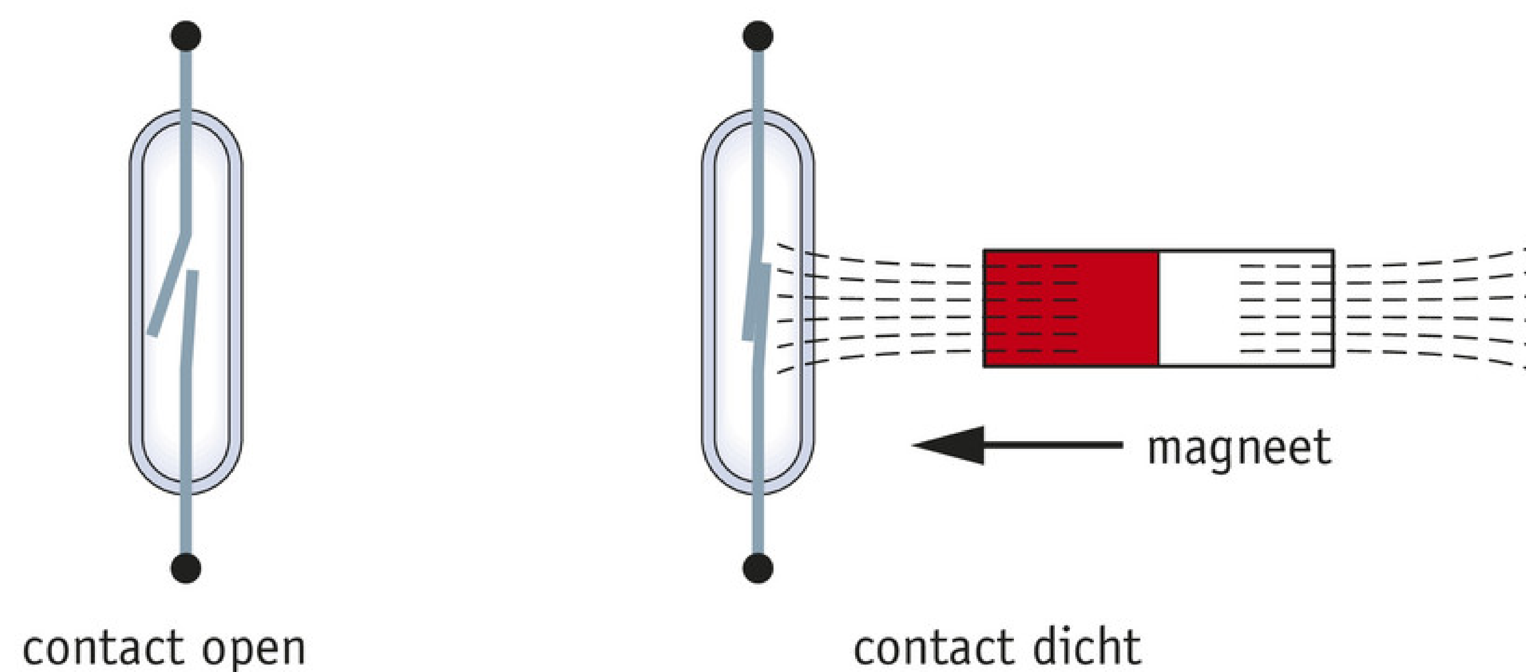
a Teken dit systeem met de juiste symbolen. In figuur 49 op bladzijde 260 staat een voorbeeld.

b Als een van de sensoren van dit systeem niet is afgeschermd van het licht van de lamp, dan gaat de lamp knipperen.
Leg uit waarom dat gebeurt.



▲ **figuur 53**
een inbraakalarm met reedcontact

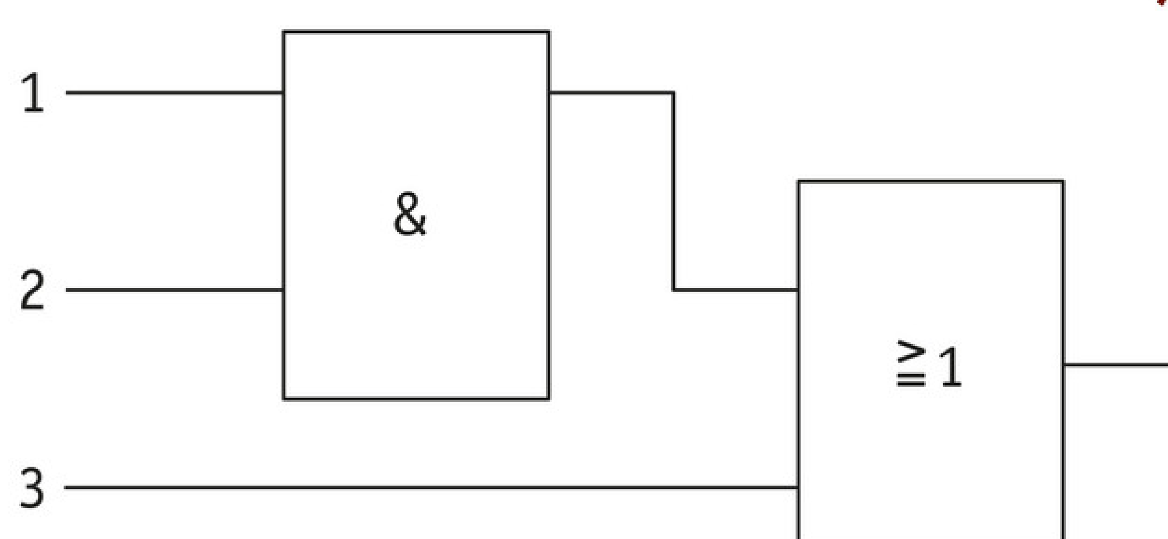
45 In figuur 53 zie je een inbraakalarm. Het bestaat uit een vaste magneet en een reedcontact. Een reedcontact is een glazen buisje met daarin twee stalen strips. De magneet zorgt ervoor dat de stalen strips contact maken (figuur 54). Zolang de strips contact maken, geeft de sensor een hoge spanning af. Doet iemand het raam open, dan wordt het contact verbroken en schakelt een relais het alarm in.
- **a** Welk soort systeem is dit?
- **b** Wat is de sensor in dit systeem?
- **c** Wat is de actuator in dit systeem?
- **d** Teken het blokschema van dit systeem en noteer in elk blok wat er gebeurt als er wordt ingebroken.



▲ **figuur 54**
Een reedcontact sluit als er een magneet bij wordt gehouden.

46 In figuur 49 op bladzijde 260 zie je een regelsysteem voor de temperatuur in een ruimte. Je stelt de comparator in op een stand die hoort bij 20 °C.
Leg uit dat de temperatuur in de ruimte altijd een beetje zal schommelen rond 20 °C.

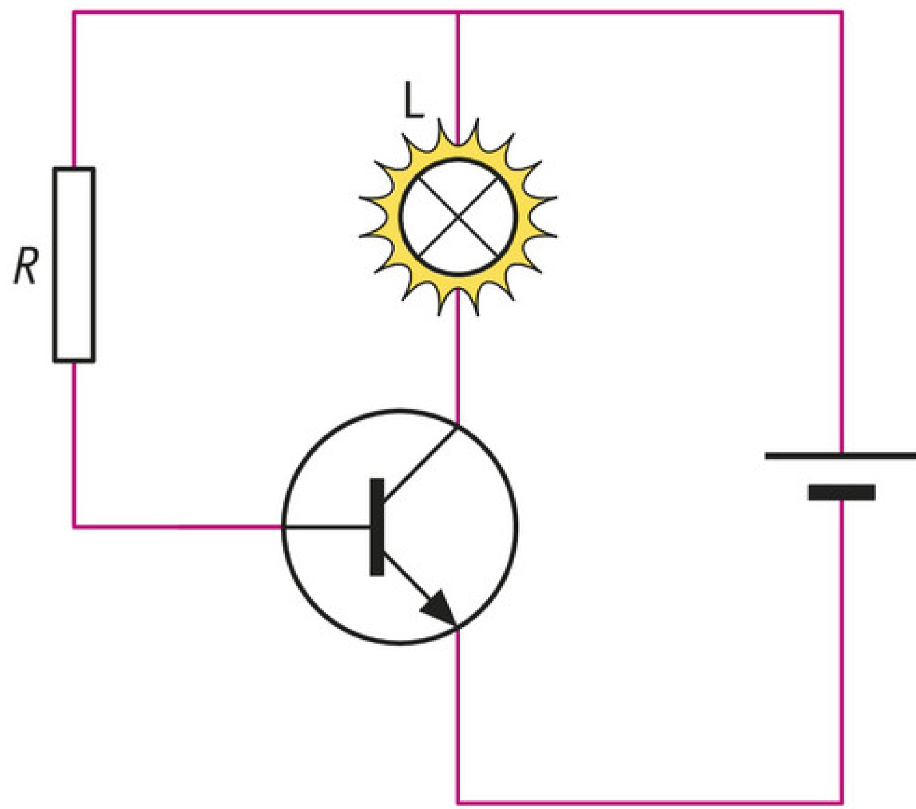
***47** In tabel 6 zie je dat bij een EN-poort het uitgangssignaal altijd 0 is, behalve als op beide ingangen een 1 staat. Bij een OF-poort is dat precies andersom.
- **a** Teken een soortgelijke tabel voor de OF-poort.
- **b** In figuur 55 zie je een combinatie van een EN-poort en een OF-poort. Maak een tabel met vier kolommen en noteer voor alle acht combinaties van nullen en enen op de drie ingangen de waarde van de uitgang.



▲ **figuur 55**
een combinatie van een EN-poort en een OF-poort

Plus De transistor

48 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke functie heeft een transistor in een schakeling?
- **b** Hoe heten de drie aansluitpunten van een transistor?
- **c** Wanneer laat een transistor de ‘apparaatstroom’ door?
- **d** Wanneer houdt een transistor de ‘apparaatstroom’ tegen?



▲ **figuur 56**
Fida's schakeling

49 Fida heeft een testschakeling met een transistor gemaakt (figuur 56).

a Neem de figuur over en zet een B bij de basis, een C bij de collector en een E bij de emitter.

b Welke stroomsterkte is het grootst: die door het lampje of die door de weerstand?

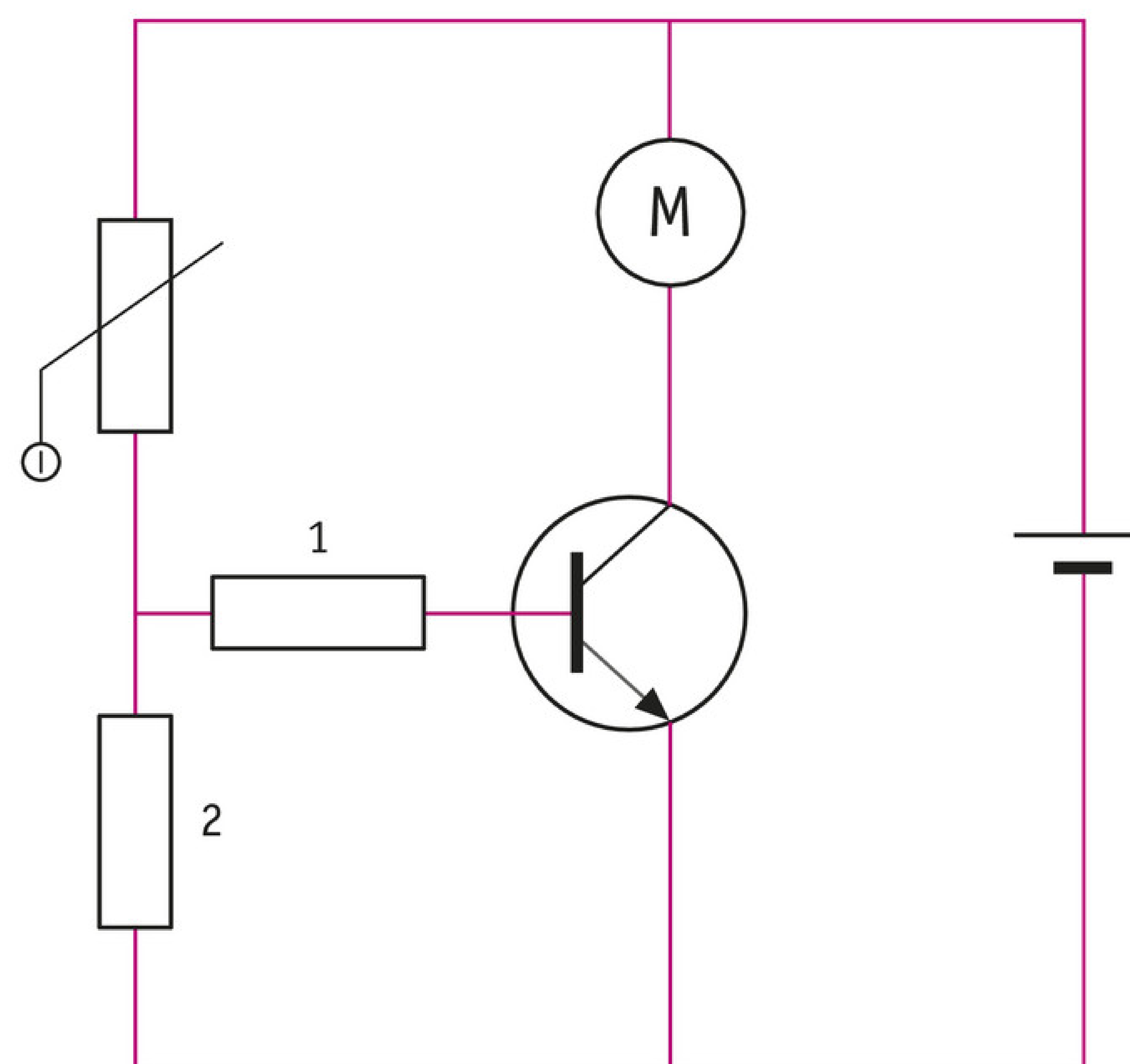
c Fida vervangt de gewone weerstand *R* door een lichtgevoelige LDR. Als ze haar hand over deze LDR legt, gaat het lampje uit.
Leg uit waarom het lampje dan uitgaat. Bespreek daarbij wat er gebeurt met de stroomsterkte door de basis.

50 Computerchips kunnen erg heet worden. Daarom hebben de meeste computers een ventilator die koele lucht over de chips heen blaast. De schakeling in figuur 57 regelt automatisch het toerental van de ventilator.

a Leg uit:
- welke component in deze schakeling functioneert als sensor.
- hoe deze sensor reageert op een stijging van de temperatuur.
- hoe de schakelstroom door de transistor in dat geval verandert.

b In de schakeling zijn twee weerstanden gebruikt.
Welke weerstand dient om de stroomsterkte door de sensor te begrenzen?

c Welke stroomsterkte begrenst de andere weerstand?



▶ **figuur 57**
een ventilator die rekening houdt met de temperatuur

Practicum

Je docent zal je vertellen van welke proeven je een verslag moet maken.
Zie vaardigheid 10 achter in je boek.

Proef 1 Aantrekken en afstoten 20 min

Inleiding
Je kunt voorwerpen laden door ze met een doek te wrijven. Dat ze geladen zijn, kun je op verschillende manieren merken.

Doel
Je onderzoekt wat er gebeurt als geladen voorwerpen bij geladen en ongeladen voorwerpen in de buurt komen.

Nodig
- twee pvc-buizen
- twee perspex staven
- wollen doek
- zijden doek
- draaitafel/houder (of statief met klem en nylondraad)
- velletje papier

Uitvoeren en uitwerken
Onderzoek 1
- Scheur het velletje papier in kleine stukjes.
- Wrijf een pvc-buis stevig met de wollen doek.
- Houd de buis vlak bij de papiersnippers.

1 Schrijf op wat je ziet.

Onderzoek 2
- Zet een kraan zó ver open dat je een heel dun waterstraaltje krijgt.
- Wrijf een pvc-buis stevig met de wollen doek.
- Houd de staaf vlak bij het waterstraaltje.

2 Schrijf op wat je ziet.

Onderzoek 3
- Wrijf een perspex staaf stevig met de zijden doek.
- Houd de staaf vlak bij de papiersnippers.

3 Schrijf op wat je ziet.

Onderzoek 4
- Wrijf een van de pvc-buizen met de wollen doek. Leg de buis meteen op de draaitafel (of hang hem aan het statief).
- Wrijf de tweede pvc-buis met de wollen doek. Houd hem vervolgens vlak bij de eerste pvc-buis (figuur 58).

4 Schrijf op wat je ziet.



▲ **figuur 58**
twee gewreven pvc-buizen vlak bij elkaar

Onderzoek 5
- Wrijf een van de pvc-buizen met de wollen doek. Leg de buis meteen daarna op de draaitafel (of hang hem aan het statief).
- Wrijf een perspex staaf met de zijden doek. Houd hem vervolgens vlak bij de pvc-buis.

5 Schrijf op wat je ziet.

Onderzoek 6
- Wrijf een van de perspex staven met de zijden doek. Leg de staaf meteen daarna op de draaitafel (of hang hem aan het statief).
- Wrijf de andere perspex staaf met de zijden doek. Houd hem vervolgens vlak bij de eerste perspex staaf.

6 Schrijf op wat je ziet.

Conclusies

7 Geef bij de volgende situaties aan of er aantrekkende of afstotende krachten werken.
   - **a** tussen een geladen en een ongeladen voorwerp
   - **b** tussen twee geladen pvc-buizen
   - **c** tussen twee geladen perspex staven
   - **d** tussen een geladen pvc-buis en een geladen perspex staaf

8 Op welke manier kun je onderzoeken of een willekeurig geladen voorwerp dezelfde lading heeft als een pvc-buis?

Proef 2 Het (*I*,*U*)-diagram van een constantaandraad 30 min

Inleiding

Als je de spanning over een component verandert, verandert de stroomsterkte door die component ook. Door metingen te doen, kun je ontdekken of de weerstand verandert of niet.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
Welk verband bestaat er bij een constantaandraad tussen de stroomsterkte en de spanning?

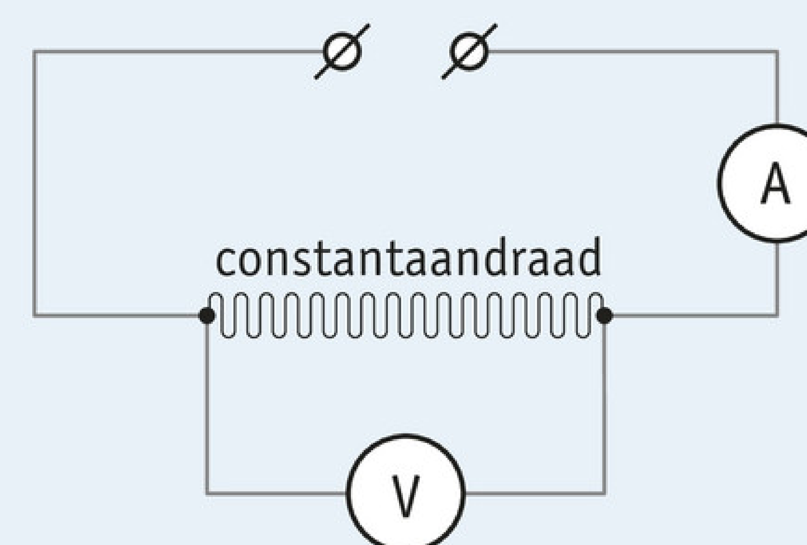
Nodig

- voedingskastje
- vijf snoeren
- stroommeter of multimeter
- spanningsmeter of multimeter
- constantaandraad
- grafiekpapier of werkblad 6-3

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Maak de schakeling van figuur 59.
- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 0,5 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door de draad. Ga hiermee door tot de spanning 3 V is.



▲ **figuur 59**
de opstelling van proef 2

1 Maak een tabel met drie kolommen. Schrijf de waarde van de spanning in de eerste kolom. Schrijf de waarde van de stroomsterkte in de tweede kolom.

Uitwerken

2 Zie vaardigheid 4 achter in je boek. Maak op het werkblad of op grafiekpapier een (*I*,*U*)-diagram van je meetresultaten.

3 Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning over en de stroomsterkte door de draad?

4 Bereken met de formule $R = U : I$ de weerstand R van de draad bij elke meting. Schrijf de uitkomst in de derde kolom van de tabel.

5 Wat valt je op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?

6 Had je de conclusie van vraag 5 ook al uit het diagram kunnen trekken? Licht je antwoord toe.

7 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Proef 3 Het (I,U)-diagram van een gloeilampje 25 min

Inleiding
Als je de spanning in een schakeling verandert, verandert de stroomsterkte ook. Door metingen te doen, kun je ontdekken of de weerstand van een component verandert of niet.

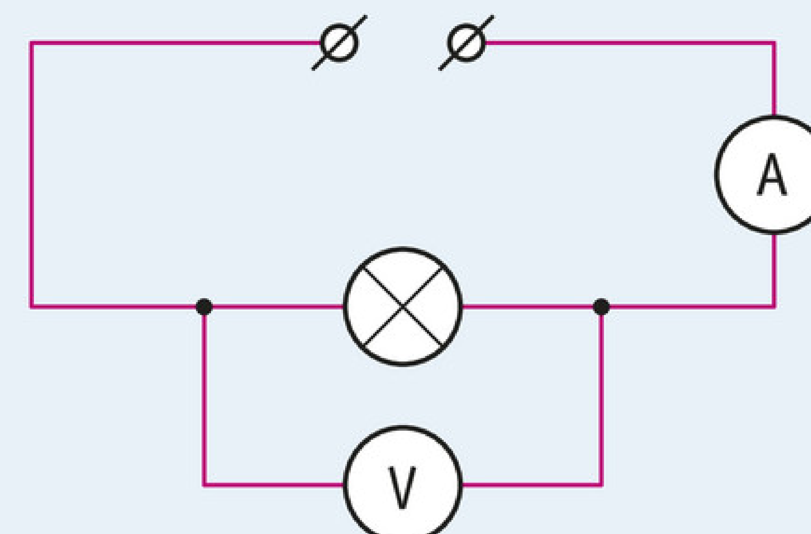
Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Welk verband bestaat er bij een gloeilampje tussen de stroomsterkte en de spanning?

Nodig
- voedingskastje
- vijf snoeren
- stroommeter of multimeter
- spanningsmeter of multimeter
- gloeilampje
- fitting
- grafiekpapier of werkblad 6-4

Uitvoeren en uitwerken
Meten
- Maak de schakeling van figuur 60.
- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 1 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door het gloeilampje. Ga hiermee door tot de spanning 6 V is.

1 Maak een tabel met drie kolommen. Schrijf de waarden van de spanning in de eerste kolom. Schrijf de waarden van de stroomsterkte in de tweede kolom.

Uitwerken
2 Maak op het werkblad of op grafiekpapier een (I,U)-diagram van je meetresultaten.
3 Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning over en de stroomsterkte door het gloeidraadje?
4 Bereken bij elke meting met $R = U : I$ de weerstand R van het gloeidraadje. Schrijf de uitkomst in de derde kolom van je tabel.
5 Wat valt je op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?
6 Welke waarde heeft de weerstand van het lampje bij 0 V?
7 Wat zou een verklaring kunnen zijn voor het veranderen van de weerstand? Hoe zou je kunnen testen of die verklaring juist is?
8 Beantwoord de onderzoeksvraag.



▲ **figuur 60**
de opstelling van proef 3

Proef 4 De vervangingsweerstand van een serieschakeling 20 min

Inleiding
Componenten worden vaak in serie geschakeld. Daarom is het nuttig meer te weten over de totale weerstand en de spanning over de componenten.

Doel
Je controleert de formule $R_{tot} = R_1 + R_2 + \dots$ en onderzoekt de verdeling van de spanning.

Nodig
- voedingskastje
- zes snoeren
- spanningsmeter of multimeter
- stroommeter of multimeter
- twee verschillende weerstanden

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Bepaal de weerstandswaarde van weerstand 1.
- Bepaal ook de waarde van weerstand 2.
- Bouw een schakeling waarin de twee weerstandjes in serie staan. Zet met behulp van de spanningsmeter de bronspanning op 9,0 V.
- Meet de stroomsterkte, de spanning U_1 over weerstand 1 en U_2 over weerstand 2.

1 Noteer je meetresultaten.

Uitwerken

2 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I}$$

3 Bereken de totale weerstand met de formule: $R_{tot} = R_1 + R_2$

4 Vergelijk de uitkomsten van vraag 2 en 3. Wat is je conclusie?

5 Onderzoek of er een verband bestaat tussen de verhouding van R_1 en R_2 en de verhouding van U_1 en U_2.

Proef 5 De vervangingsweerstand van een parallelschakeling 20 min

Inleiding

Componenten worden vaak parallel geschakeld. Daarom is het nuttig meer te weten over de totale weerstand en over de spanning over de componenten.

Doel

Je controleert de volgende formule in een parallelschakeling van twee weerstanden:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$$

Nodig

- voedingskastje
- zes snoeren
- spanningsmeter of multimeter
- stroommeter of multimeter
- twee verschillende weerstanden

Uitvoeren en uitwerken

Meten

Als je proef 4 niet hebt gedaan, bepaal dan de weerstandswaarde van de weerstanden 1 en 2.

- Bouw een schakeling waarin de twee weerstanden parallel zijn aangesloten op de bron.
- Zet met behulp van de spanningsmeter de bronspanning op 6,0 V.
- Meet de spanning over elk van de weerstanden.
- Meet de totale stroomsterkte.

1 Noteer je meetresultaten.

Uitwerken

2 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U}{I_{tot}}$$

3 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

4 Vergelijk de uitkomsten van vraag 2 en 3. Wat is je conclusie?

5 Volgens de theorie is de totale weerstand bij een parallelschakeling kleiner dan R_1 en ook kleiner dan R_2. Is dat hier ook zo?

Proef 6 Het systeembord 30 min

Inleiding
Met een systeembord (figuur 61) kun je systemen nabootsen door onderdelen uit de invoer, verwerking en uitvoer op de juiste manier met elkaar en met sensoren te verbinden. Een aantal onderdelen ben je al tegengekomen in paragraaf 4.

Doel
Je leert een aantal onderdelen van het systeembord kennen.

Nodig
- systeembord
- snoeren
- batterij
- lampje in houder

Uitvoeren
- Verbind de ingang van de comparator met de 'variabele spanning' (daarmee kun je een sensor nabootsen) en de uitgang met een led. Ga na hoe de comparator werkt.



▲ **figuur 61**
een systeembord

- Controleer de werking van de EN-poort met behulp van de twee drukschakelaars en een led.
- Onderzoek op dezelfde manier de werking van de OF-poort.
- Onderzoek op dezelfde manier de werking van de geheugencel.
- Ga na hoe je de uitgang van de geheugencel hoog kunt maken en daarna weer laag.
- Sluit de batterij en het lampje aan op het relais en bedien het relais met een drukschakelaar. Je kunt dan het lampje aan- en uitdoen.

Proef 7 Een schakeling op het systeembord 40 min

Inleiding
Stel je voor: in een aardappelhandel worden zakken aardappelen opgeslagen in een ruimte die zo donker mogelijk moet blijven. Regelmatig sjouwen medewerkers zware zakken op hun schouder naar binnen. Er moet daarom een schakeling worden gemaakt die ervoor zorgt dat een sjouwer, die geen hand vrij heeft, met een harde kreet het licht aan kan doen als hij naar binnen loopt. Als hij weer naar buiten komt, kan hij met een drukschakelaar het licht weer uitdoen.

Doel
Je maakt een schakeling die voldoet aan de volgende ontwerpeisen:

Ontwerpeisen
- Als het donker is én iemand geeft een harde kreet, dan gaat een lamp aan.
- De lamp blijft aan totdat iemand met een drukschakelaar de lamp weer uitdoet.

Nodig
Bij deze opdracht gebruik je een systeembord (figuur 61). In het bord zit één sensor ingebouwd: de geluidssensor. Andere typen sensoren kun je met snoeren met het bord verbinden, maar je kunt ze ook nabootsen met de variabele spanning. Het licht in de opslagruimte boots je na met een lampje dat is verbonden met het relais.

Uitvoeren en uitwerken
1. Bedenk welke onderdelen van het systeembord je nodig hebt.
2. Noteer welke practicumspullen je verder nog nodig hebt.

- Bouw de schakeling. Doe dat stap voor stap. Test daarna of hij voldoet aan de ontwerpeisen.
- Verander de schakeling als hij nog niet aan de eisen voldoet.
- Toon je schakeling aan je docent.

Proef 8 Een onderzoek uitvoeren: stroom door een potloodstift 50 min

Inleiding
Een potloodstift kan elektriciteit geleiden. Potloden zijn er in verschillende hardheden: van 7B tot 7H.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Heeft de hardheid van een potloodstift invloed op de soortelijke weerstand van het materiaal?

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat zoek je precies op en wat ga je meten? Hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden besproken in de klas. Daarna kun je je werkplan eventueel verbeteren.
- Voer vervolgens het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.
3 Beantwoord de onderzoeksvraag.

Tips
- Je kunt contact maken met de potloodstift door een naald in een krokodillenbekje te zetten.
- Je kunt ook stiften van een vulpotlood gebruiken.
- Zie vaardigheid 1 en 10 achter in je boek.

Proef 9 Een onderzoek uitvoeren: de weerstand van een potloodstift 50 min

Inleiding
De weerstand van een potloodstift hangt af van de lengte, de diameter en de soortelijke weerstand.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe groot is de soortelijke weerstand van een potloodstift?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 8.

Tips
- De diameter kun je bepalen met een schuifmaat of beter nog met een micrometer. Vraag de TOA hoe je de micrometer moet gebruiken.
- Zie vaardigheid 1, 2 en 10 achter in je boek.

Proef 10 Een onderzoek uitvoeren: de sterkte van een elektromagneet 50 min

Inleiding
Je kunt een elektromagneet maken door een stroom door een spoel te laten lopen.

Doel
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe hangt de sterkte van een elektromagneet af van de stroom die erdoorheen gaat?

Uitvoeren en uitwerken
Zie proef 8.

Tips
- De elektromagneet wordt sterker als je er een ijzeren kern in legt.
- Je kunt de sterkte bepalen door spijkertjes onder elkaar aan de magneet te hangen.
- Zie vaardigheid 1 en 10 achter in je boek.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Vul in: bij geladen voorwerpen spreek je van … elektriciteit.
- **b** Bij een proef trekt een positief geladen voorwerp A een tweede voorwerp B aan.
  Je kunt hieruit afleiden dat voorwerp B:
  - A positief geladen is.
  - B negatief geladen is.
  - C neutraal is.
  - D positief geladen of neutraal is.
  - E negatief geladen of neutraal is.

2 Je sluit een aluminiumdraad van 6,0 m lengte en een doorsnede van 2,0 mm^2 aan op een spanning van 0,45 V. De soortelijke weerstand van aluminium is 0,027 $\Omega \cdot mm^2/m$.
Bereken de stroomsterkte door de draad als de draad nog niet is opgewarmd.

3 Sabrina wrijft een perspex staaf met een zijden doek en plaatst de staaf daarna in een draaibare houder. Vervolgens wrijft ze een tweede perspex staaf met een zijden doek en houdt die bij de eerste staaf.
Wat ziet Sabrina dan gebeuren?
- A De eerste staaf draait bij de tweede vandaan.
- B De eerste staaf draait naar de tweede toe.
- C Er springt een vonk over tussen de staven.
- D Daar valt met deze informatie niets over te zeggen.

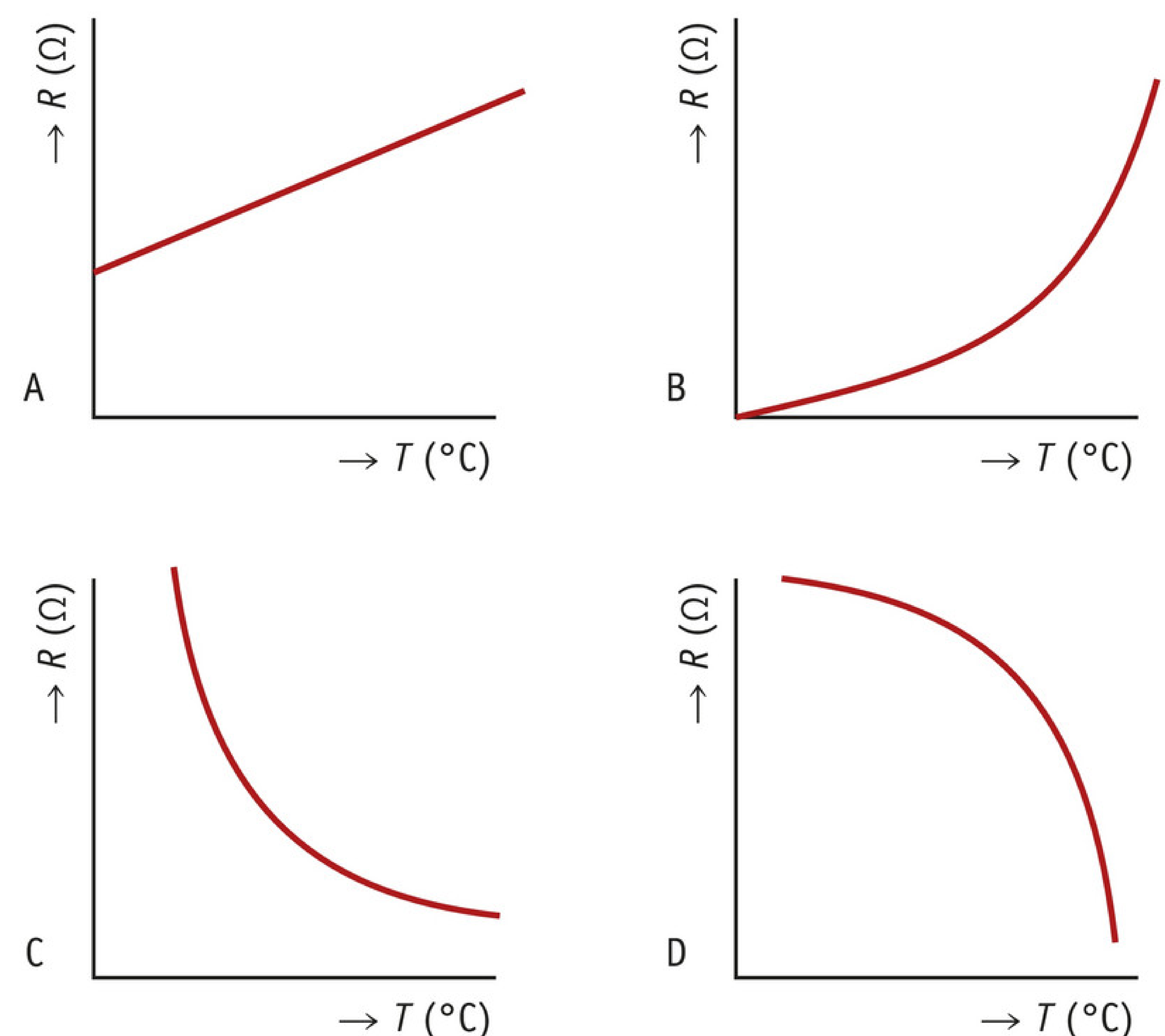
4 De indeling in drie soorten systemen kun je ook toepassen op systemen die niet elektrisch werken.
- **a** Noem de drie soorten systemen.
- **b** Geef van de volgende situaties aan om welk soort systeem het gaat.
  - Als je het toilet doorspoelt, stroomt er water in het reservoir totdat het vol is.
  - Als de zon fel op de ramen van de klas schijnt, rollen de zonneschermen vanzelf omlaag. Als de zon verdwijnt, gaan ze weer omhoog.
  - Als de benzine bijna op is, gaat er een lampje branden op het dashboard van een auto.
  - Als je naar een stilstaande roltrap loopt, komt deze in beweging.

5 Bij een webwinkel kun je reservelampjes kopen voor een zaklantaarn. In de beschrijving staat:

Reservelamp voor zaklamp 3,5 V 0,7 W 200 mA Fitting=E10 Helder

Bereken de weerstand van het lampje als het op de juiste spanning brandt.

6 De weerstand van een NTC hangt af van de temperatuur.
In welke grafiek in figuur 62 is dit verband juist getekend?

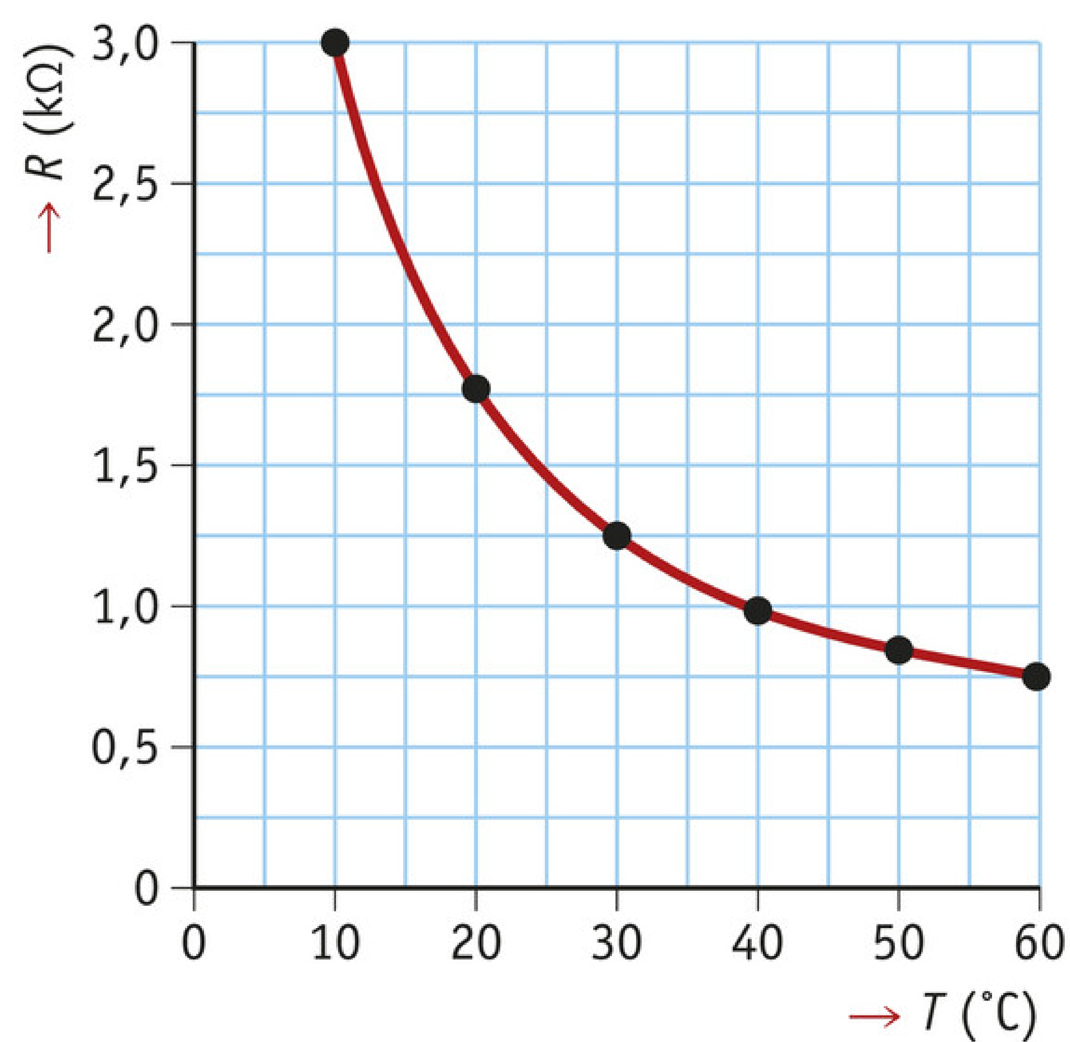


▲ **figuur 62**
Welke grafiek geeft het verband?

7 Door een weerstand van 2,0 kΩ loopt een stroom van 20 mA.
Bereken de spanning over de weerstand.

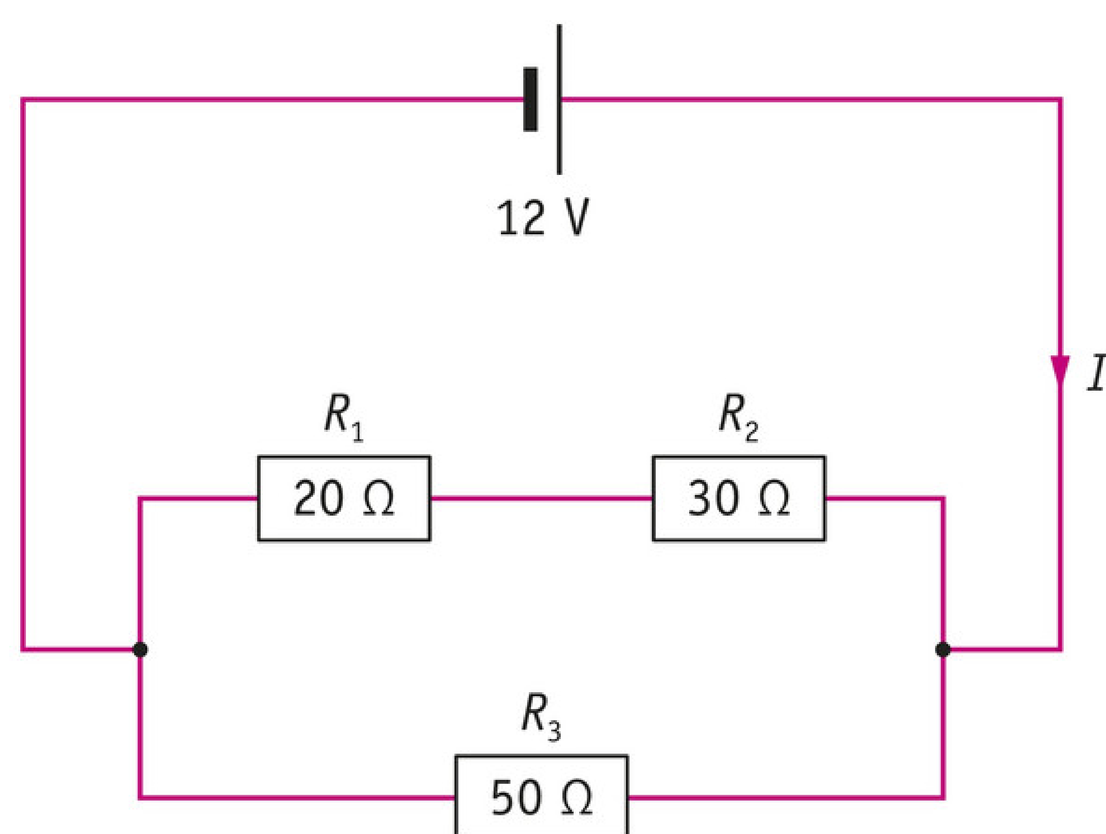
8 Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.
- **a** Voor de meeste metaaldraden geldt dat hun weerstand daalt als hun temperatuur stijgt.
- **b** Volgens de wet van Ohm is de spanning recht evenredig met de stroomsterkte.
- **c** Hoe feller het licht is dat op een LDR valt, des te groter wordt zijn weerstand.
- **d** Als de temperatuur van een NTC daalt, wordt zijn weerstand steeds groter.
- **e** De eenheid van lading is de volt.

9 Rafael doet een serie proeven met een temperatuursensor. Vooraf heeft hij het verband gemeten tussen de temperatuur en de weerstand (figuur 63).
Bij een van zijn proeven loopt er een stroom van 6,0 mA door de sensor. De spanning over de sensor is op dat moment 10,8 V.
Bepaal de temperatuur die de sensor aangeeft.



▲ **figuur 63**
de weerstand van een sensor bij verschillende temperaturen

10 Bereken de vervangingsweerstand van de schakeling in figuur 64.

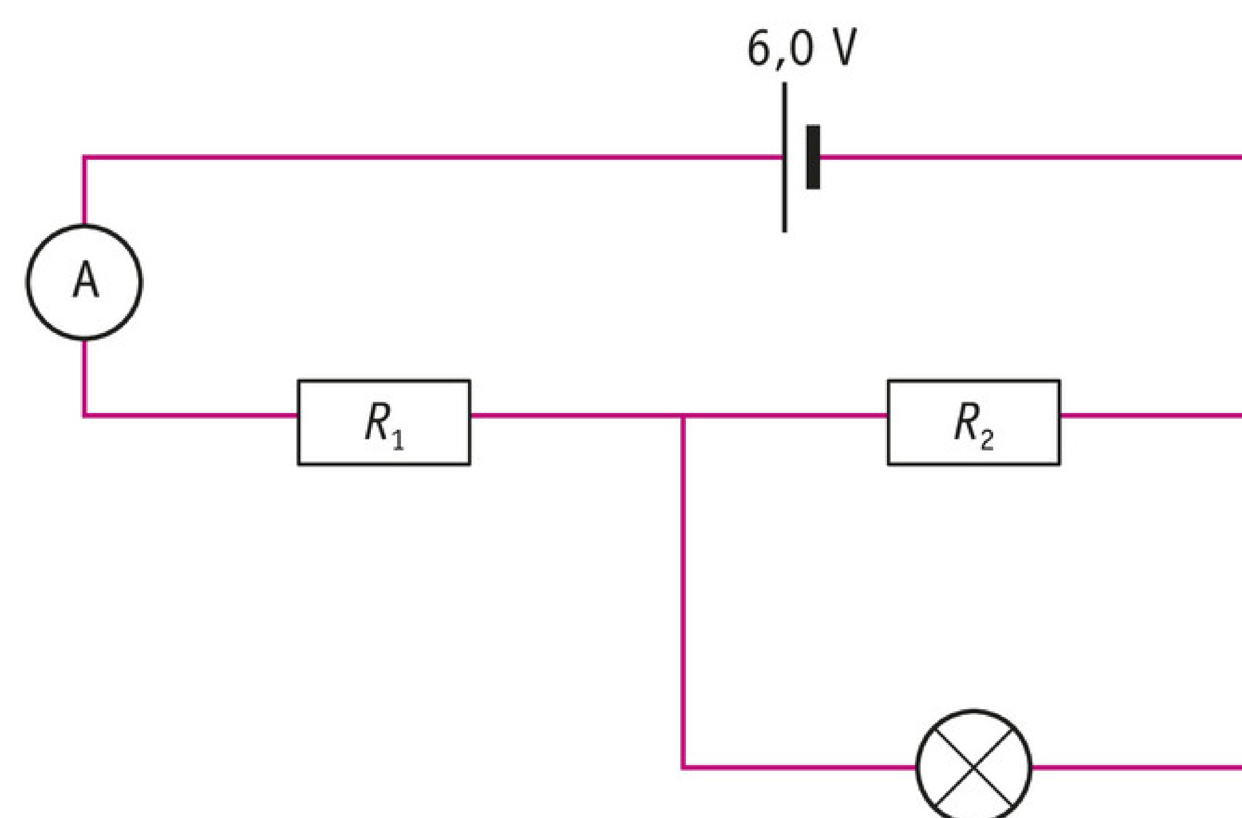


▲ **figuur 64**
een gemengde schakeling

11 Jan heeft een aantal identieke lampjes van 6 V/0,1 A. Hij sluit er één aan op een voedingskastje dat staat ingesteld op 6,0 V. Daarna sluit hij het volgende lampje parallel aan, daarna het derde, enzovoort. De voeding wordt beschermd door een zekering van 0,5 A.
Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.

a Hoe meer lampjes Jan aansluit, des te groter wordt de vervangingsweerstand.
b Hoe meer lampjes Jan aansluit, des te groter wordt de totale stroomsterkte.
c Als één lampje in Jans schakeling doorbrandt, gaan alle andere lampjes uit.
d Als Jan een nieuw lampje aansluit, gaan de andere lampjes minder fel branden.
e Jan kan op zijn hoogst vijf lampjes aansluiten, voordat de zekering doorbrandt.

12 Albert heeft de schakeling gemaakt van figuur 65. De weerstanden R_1 en R_2 zijn allebei 2,0 Ω. De stroommeter wijst 2,5 A aan.
Bereken of beredeneer wat de waarde is van:
a de spanning over R_1.
b de spanning over R_2.
c de stroomsterkte door R_2.
d de stroomsterkte door het lampje.



▲ **figuur 65**
de schakeling van Albert

13 Een weerstandje van 100 Ω en een variabele weerstand zijn parallel aangesloten op een batterij van 9,0 V.
Welke waarde moet je de variabele weerstand geven zodat de totale stroomsterkte 200 mA is?

14 Een nieuw type digitale koortsthermometer geeft een piepje als de temperatuur tijdens het meten boven de 38 °C uitkomt.
a Welke van de volgende onderdelen zullen in de schakeling opgenomen zijn?
- een comparator
- een EN-poort
- een invertor

b Is er bij dit systeem sprake van terugkoppeling?

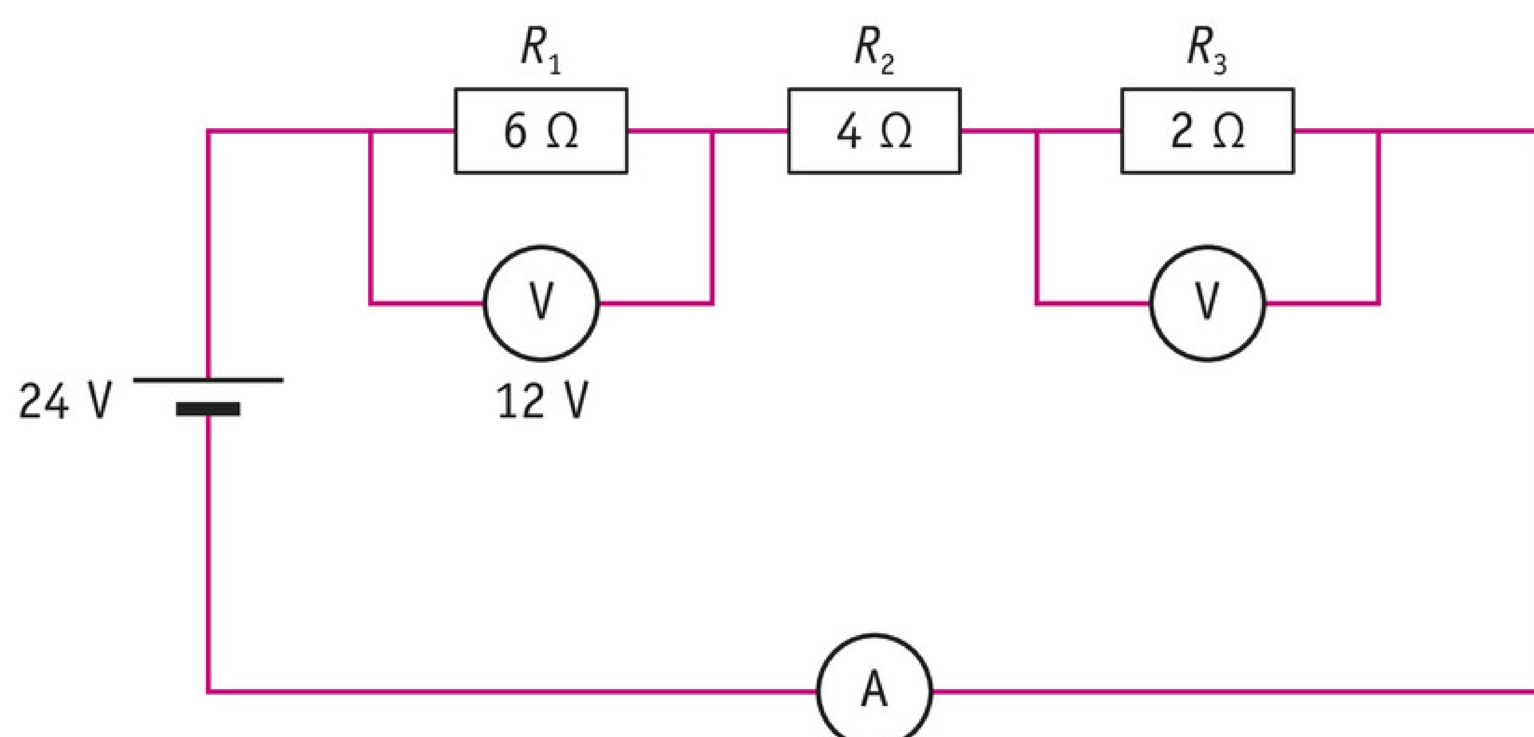
15 Twee identieke weerstandjes zijn eerst in serie en daarna parallel geschakeld.
Hoe groot is de verhouding tussen de waarde van de vervangingsweerstand in het eerste geval en die in het tweede geval?

16 Een metaaldraad heeft een weerstand van 1,0 Ω.
Hoe groot is de weerstand van een draad van hetzelfde metaal die 2× zo lang is en 2× zo dik?

17 In figuur 66 zijn drie weerstanden in serie geschakeld.

a Leg uit waarom de spanningsmeter over R_1 een spanning van 12 V aangeeft.

b Bereken op twee manieren de spanning over weerstand 3.

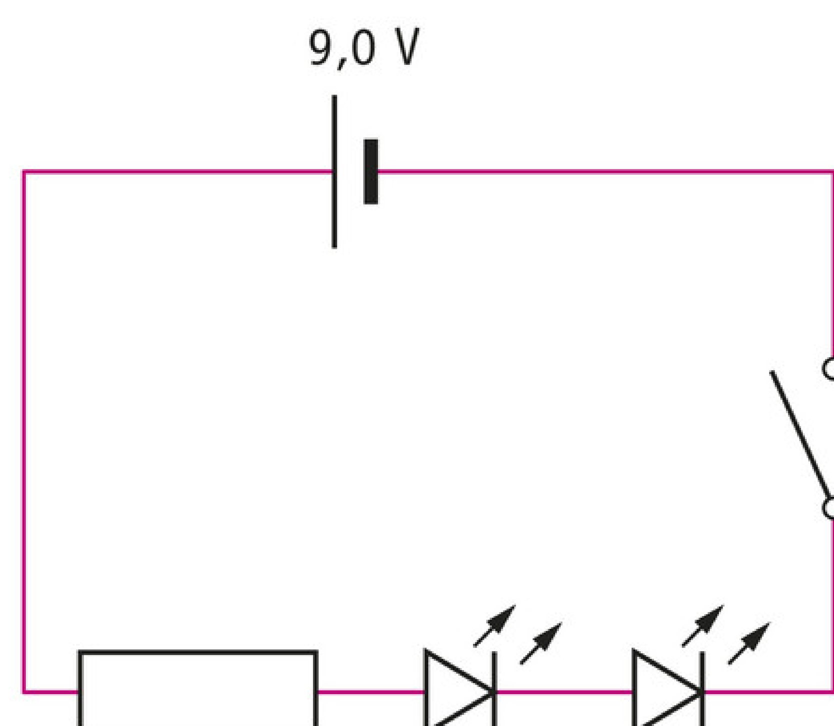


▲ **figuur 66**
een schakeling met drie weerstanden

18 Myra heeft een serieschakeling gebouwd met twee identieke leds (1,6 V/20 mA), een weerstand en een batterij van 9,0 V (figuur 67).

a Waarom heeft Myra een weerstand in serie met de leds aangesloten?

b Bereken hoe groot deze weerstand moet zijn om de leds goed te laten branden.

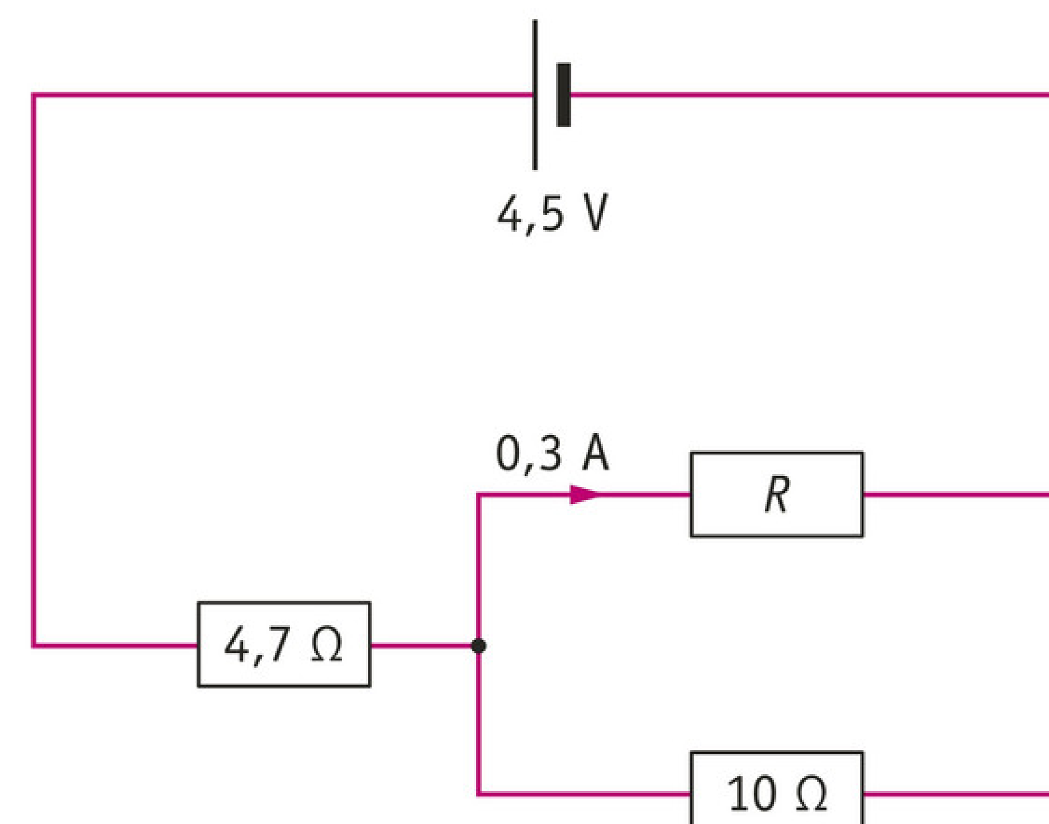


▲ **figuur 67**
de schakeling van Myra

19 De temperatuur van het water in een aquarium met tropische vissen moet voortdurend op 25 °C worden gehouden. Daarom zit er een verwarmingselement in het aquarium dat wordt ingeschakeld door een relais.
Teken het regelsysteem met al zijn onderdelen.
Gebruik de gebruikelijke symbolen en teken de sensor en het verwarmingselement als een rechthoekje.

20 Een constantaandraad van 4,0 m lengte heeft een weerstand van 2,0 Ω.
Bereken de diameter van de draad.

21 Een batterij van 4,5 V is verbonden met drie weerstanden: één van 4,7 Ω, één van 10 Ω en een onbekende weerstand R (figuur 68). Door de onbekende weerstand loopt een stroom van 0,3 A.
Bereken de grootte van de onbekende weerstand R.
Naar: IJSO



▲ **figuur 68**



SPEUREN NAAR

Archeoloog Nils Kerkhoven heeft er plezier in. Geduldig tast hij de bodem af met zijn metaaldetector, een koptelefoon op het hoofd. Af en toe wordt zijn geduld beloond en begint zijn koptelefoon opgewonden te piepen. Dan bukt hij zich en woelt de grond om: “Hoppa, weer eentje.” Hij houdt een min of meer cirkelvormig muntje omhoog. De afgelopen weken heeft hij er al tientallen gevonden: gouden en zilveren munten uit de vroege middeleeuwen, rond het jaar 700 verstopt door een inwoner van Utrecht en nu, na meer dan dertien eeuwen, weer tevoorschijn gekomen.

METALEN

Het is niet zo'n goed idee om ergens te gaan heien, als er nog een 1000-ponder onder het maaiveld ligt.

Op het Domplein in Utrecht wordt gegraven. Archeologen zoeken de grond zorgvuldig af op overblijfselen uit het verleden. Dat is niet de eerste keer. In 1949 zijn er op dezelfde plaats ook al opgravingen geweest. Toen zijn er maar twee munten gevonden: de schijfjes goud en zilver zijn zo klein dat je ze zonder hulpmiddelen bijna niet kunt opsporen. Maar nu is dat anders. Dankzij de metaaldetector en het geduldige zoekwerk van Nils Kerkhoven zijn er al meer dan vijftig munten verzameld. En de teller loopt nog.

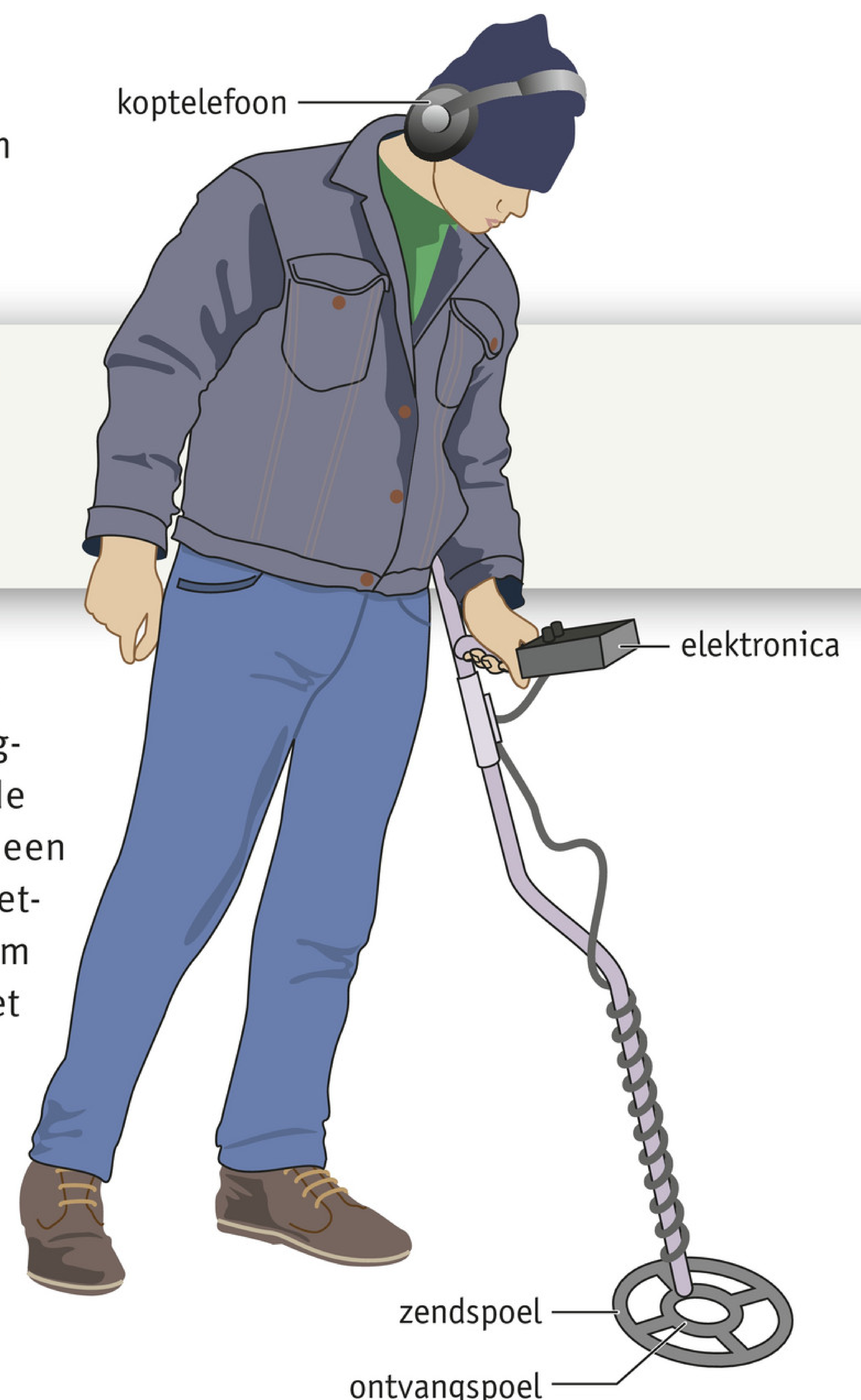
Zoeken met een metaaldetector

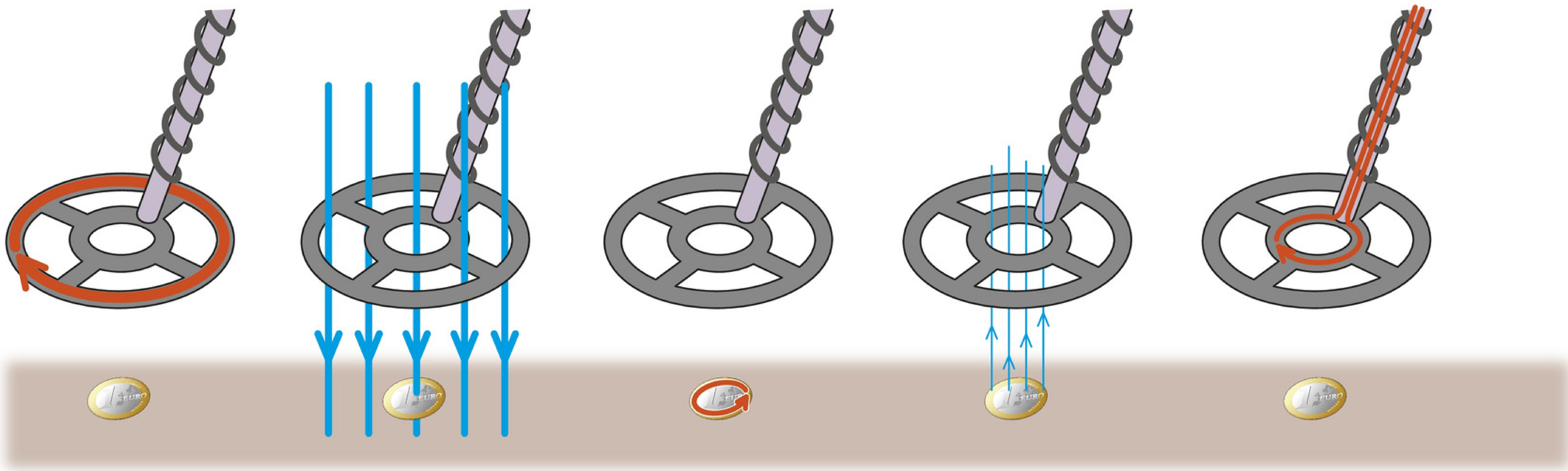
Een metaaldetector functioneert als verlengstuk van je zintuigen. Wat je zelf niet kunt waarnemen – een munt onder het zand bijvoorbeeld –, ziet een metaaldetector wel. Als het apparaat een interessant object detecteert, begint het te piepen. Je weet dan dat daar misschien een munt in de bodem zit. Je kunt zelfs aan de piepjes horen of het om een gouden of een zilveren munt gaat.

Het meest populaire type metaaldetector werkt met twee spoelen: een zendspoel en een ontvangspoel. De zendspoel produceert een magneetveld dat een eindje in de bodem doordringt. De ontvangspoel werkt als een antenne: hij registreert of er uit de bodem een (zwak) magneetveld terugkomt. Dat signaal wordt geanalyseerd door de elektronica in de metaaldetector die daarna een bijpassende piep produceert.

Wervelstromen

Een metaaldetector maakt slim gebruik van het feit dat je met elektriciteit magnetisme kunt opwekken en andersom. In de metaaldetector loopt een hoogfrequente wisselstroom door de zendspoel. Die wekt daardoor een even snel veranderend magneetveld op. Elke keer dat de stroom van richting verandert, doet het magneetveld dat ook. Als het veranderende magneetveld een metalen voorwerp in de bodem bereikt, gaat er in het metaal een inductiestroom lopen. Zo'n stroom wordt een wervelstroom (*eddy current*) genoemd, omdat hij ruwweg in een cirkel ronddraait. De wervelstroom wekt op zijn beurt ook een magneetveld op, maar veel zwakker dan het veld van de zendspoel. Dat teruggestuurde magneetveld wordt opgevangen door de ontvangspoel. Daardoor ontstaat er in de ontvangspoel een inductiestroompje met dezelfde frequentie als de wisselstroom van de





Door de zendspoel loopt een wisselstroom die een veranderend magneetveld opwekt. Hierdoor ontstaat er een wervelstroom in de munt die een zwak magnetisch veld opwekt, waardoor er in de ontvangspoel een zwak inductiestroompje gaat lopen.

zendspoel. Dit stroompje vertelt de elektronica dat er een metalen voorwerp is waargenomen.

Kabels en bommen zoeken

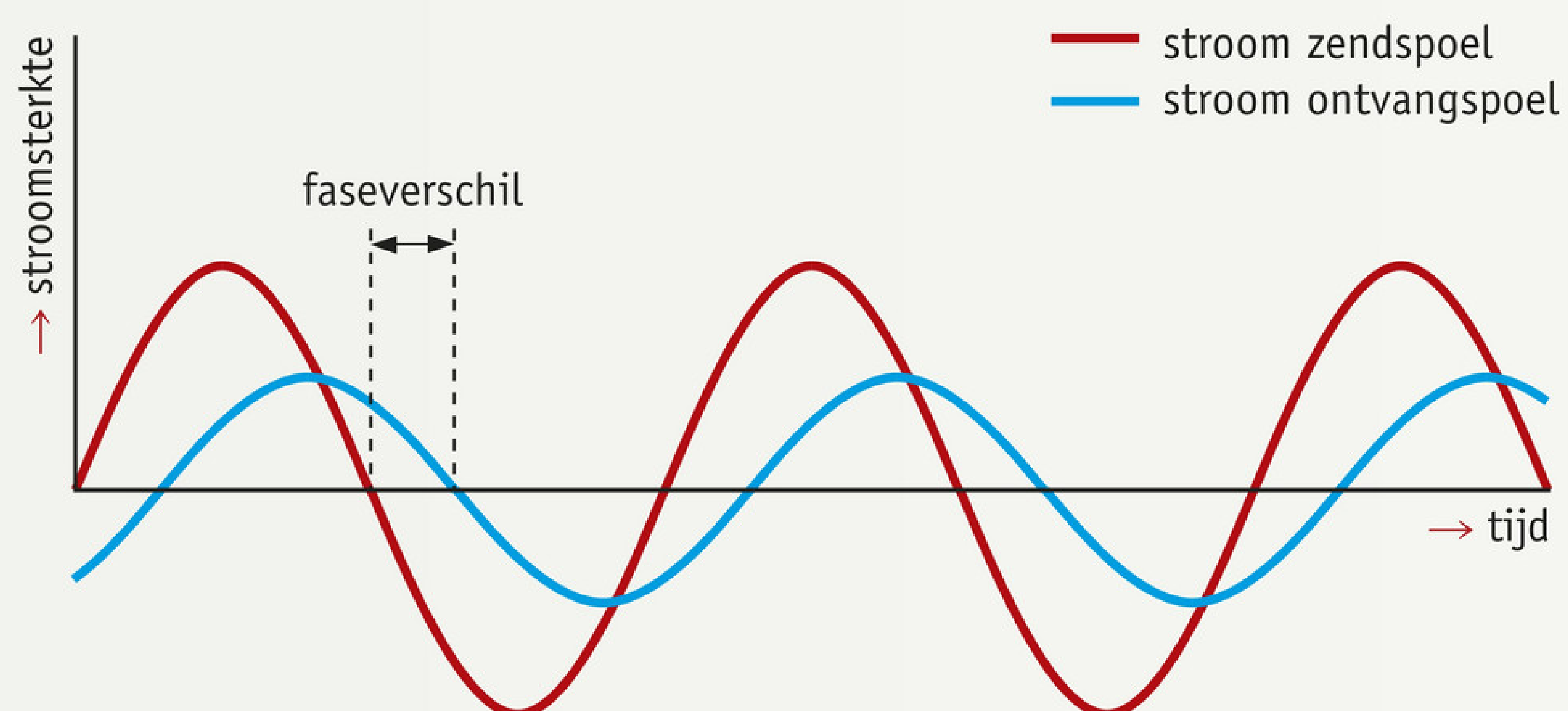
Metaaldetectoren worden niet alleen gebruikt door archeologen en amateur-schatgravers. Bedrijven werken er ook mee, bijvoorbeeld om leidingen in kaart te brengen voordat ergens wordt gegraven. Als een graafmachine een waterleidingbuis beschadigt of een elektriciteitskabel kapot trekt, kan dat flinke schadeclaims opleveren. Een check met een metaaldetector kan dat voorkomen.

Een andere toepassing is het zoeken naar niet-ontplofte bommen uit de Tweede Wereldoorlog. Als er op een bouwterrein misschien nog bommen in de grond zitten, kan de aannemer niet zomaar aan het werk gaan. Het is niet zo'n goed idee om ergens te gaan heien, als er nog een 1000-ponder onder het maaiveld ligt. Het terrein wordt dan eerst afgezocht met een metaaldetector die wel zes meter diep in de bodem kan kijken.

Weer een andere toepassing zijn de detectiepoortjes waar vliegtuigpassagiers voor het vertrek doorheen lopen. Zo'n poort slaat alarm als je iets van metaal bij je hebt. Het bewakingspersoneel kan dan met een draagbare detector het metalen voorwerp snel vinden. Die snelheid is belangrijk, want het alarm gaat vaak af. En al is het bijna altijd iets onschuldigs, de oorzaak moet wel worden gevonden voordat je mag doorlopen.

Metalen herkennen

Een inductiestroom heeft altijd even tijd nodig om op gang te komen. Daardoor loopt de stroom in het voorwerp een fractie van een seconde achter op de stroom in de zendspoel. Dit verschil wordt een faseverschil genoemd.
Het faseverschil is niet voor alle metalen even groot. Dat heeft te maken met verschillen in de elektrische eigenschappen van het metaal, zoals de soortelijke weerstand. Het faseverschil bij zilver bijvoorbeeld is daardoor veel groter dan bij aluminium.
Door het meten van het faseverschil kan een metaaldetector verschillende metalen van elkaar onderscheiden.



Auto's detecteren

In 'intelligente' verkeerslichten wordt een vergelijkbare detectietechniek gebruikt. Het regelsysteem dat dit soort verkeerslichten aanstuurt, kan zien of er auto's voor de stopstrepen staan en past

het regelgedrag daarop aan. Een automobilist krijgt bijvoorbeeld meteen groen licht, als er geen andere auto's staan te wachten. De sensor van zo'n 'intelligente' verkeerslichteninstallatie is een lus van geïsoleerd draad in het wegdek. Door de detectielus loopt een hoogfrequente wisselstroom die een wervelstroom opwekt in de metalen onderkant van een auto boven de lus. Die wervelstroom stuurt een magnetisch veld terug naar de detectielus. Die signaleert dat en de regelelektronica leidt hieruit af dat er zich een auto boven de lus bevindt.



Een succesvolle technologie

Het perfecte detectiesysteem ziet onder alle omstandigheden wat het moet zien, kan niet worden misleid, heeft geen last van storingen en is niet kapot te krijgen. Zo'n systeem ontwerp je niet zomaar: er zijn betrouwbare sensoren nodig én slimme elektronica die met alles rekening houdt. En al heeft elk ontwerp zijn beperkingen, sommige detectiesystemen komen wel een heel eind in de goede richting – zoals de verschillende varianten op de metaaldetector dagelijks laten zien.

Opgaven

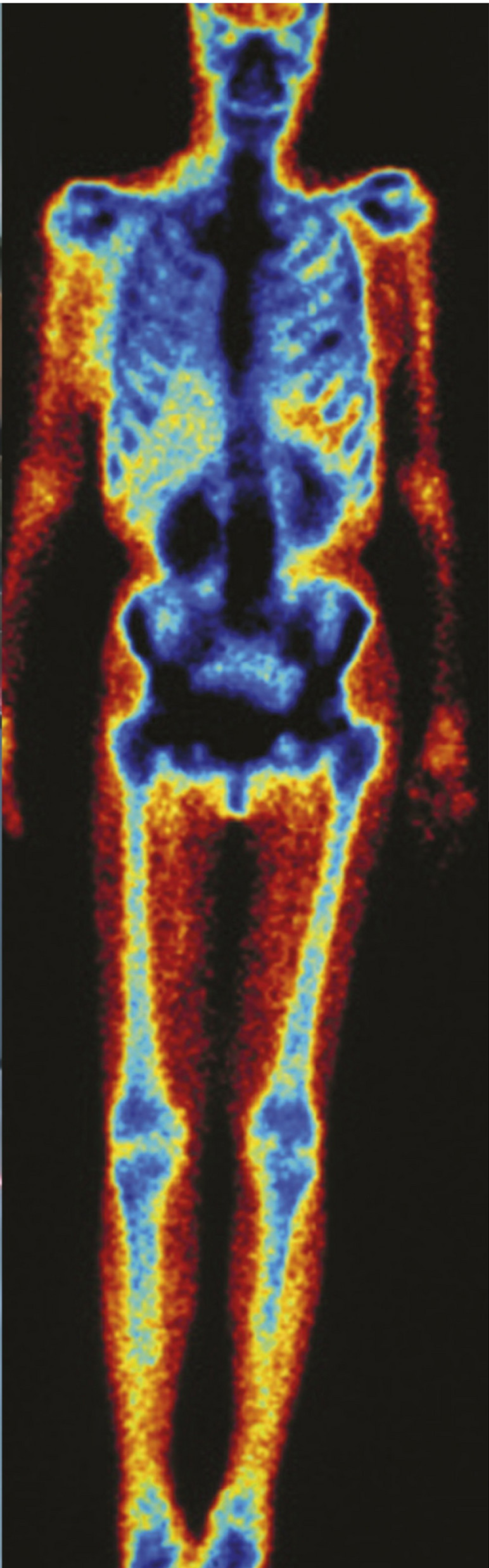
1 Je kunt begraven munten opsporen met een metaaldetector.
Leg uit of het voor het opsporen ook uitmaakt:
a hoe groot de munt is.
b hoe diep de munt onder de grond zit.
c van welk soort metaal de munt is gemaakt.
d of de munt plat in de grond ligt of rechtop (op de rand) staat.

2 Metaaldetectoren worden in de voedingsindustrie gebruikt om producten te scannen.
a Wat voor 'voedingsvreemde bestanddelen' kunnen op die manier worden gedetecteerd?
b Om wat voor 'bestanddelen' zou het kunnen gaan? Bedenk zelf een voorbeeld.

***3** Leg uit waarom een voorwerp met een lage soortelijke weerstand een sterker magneetveld terugstuurt naar de metaaldetector dan een even groot voorwerp met een hoge soortelijke weerstand.

4 Zoek op internet informatie over de detectielussen in snelwegen.
a Hoeveel van die snelwegdetectielussen zijn er bij benadering in ons land?
b Leg uit hoe je met detectielussen de snelheid van een auto kunt bepalen.
c Voor welke doelen worden de gegevens van de detectielussen verzameld?
d Hoe komt het dat de detectielussen motorrijders soms over het hoofd zien?





7

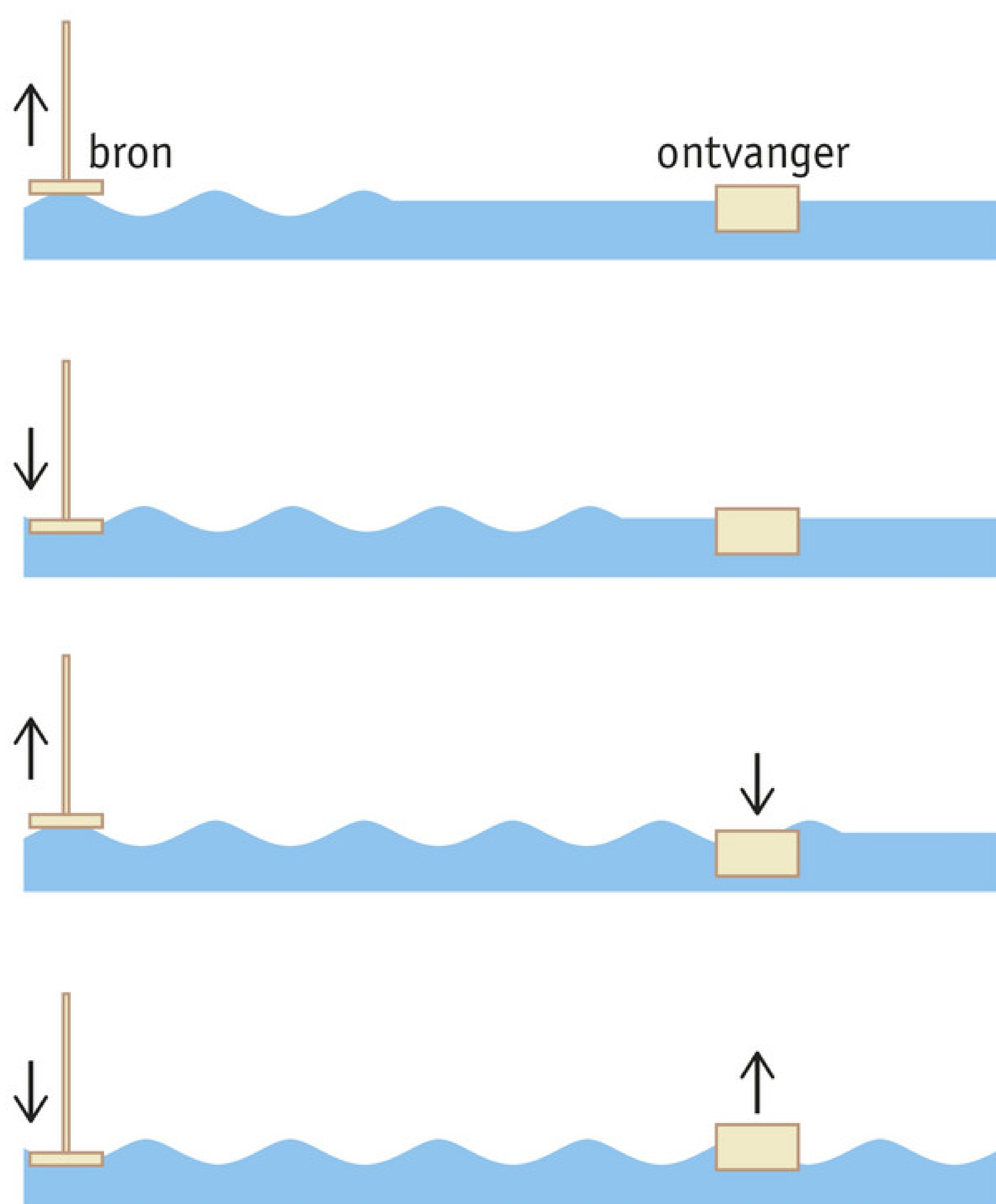
Radioactiviteit

Werken met ioniserende straling

Radioactieve stoffen zenden straling uit. Deze straling wordt in ziekenhuizen gebruikt om ziektes op te sporen en te behandelen. Daarbij gelden strenge veiligheidsregels, want straling kan slecht zijn voor je gezondheid.

1 Soorten straling

Veel mensen denken bij het woord 'straling' aan kernenergie en radioactiviteit. Maar de natuurkunde kent vele soorten straling. Je mobieltje en zaklamp zijn ook stralingsbronnen, net als de magnetron en de zonnebank. Zelfs je lichaam zendt voortdurend straling uit in de vorm van infrarode straling.

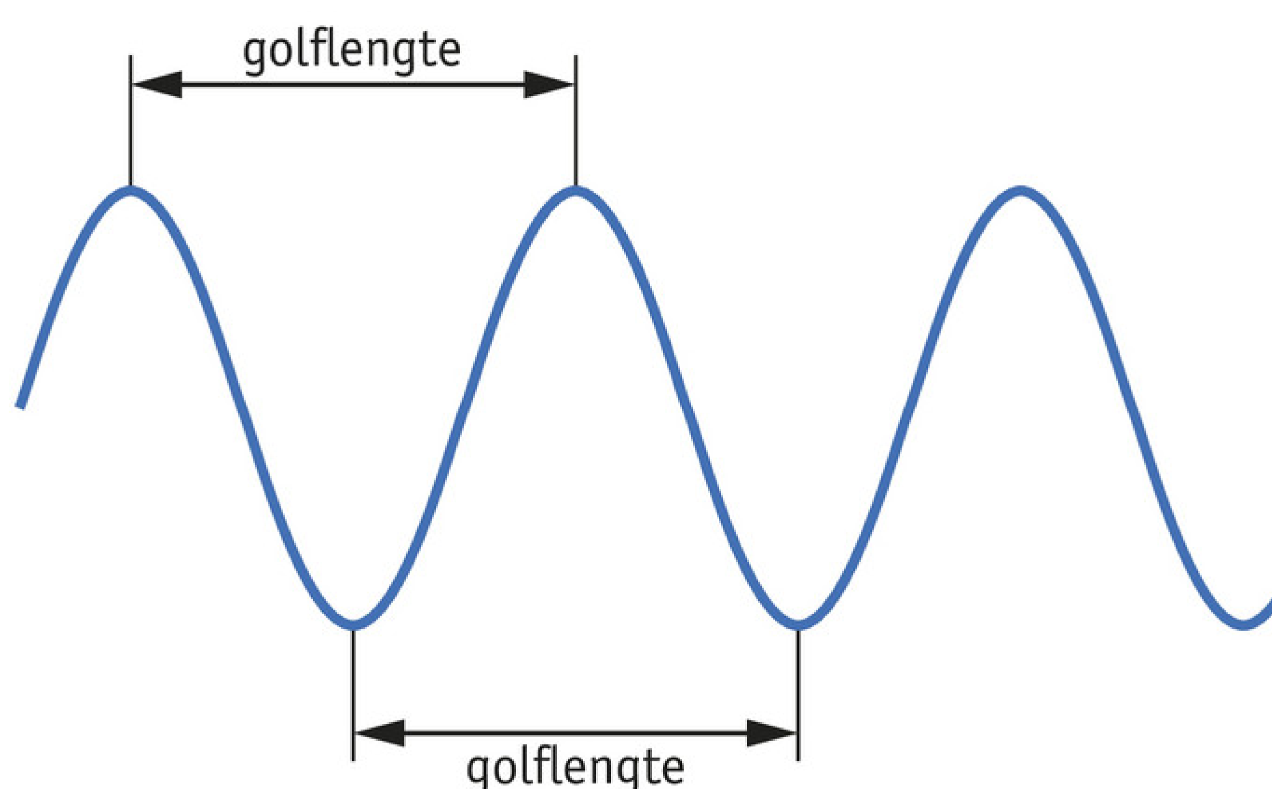


▲ **figuur 1**
Golven planten zich voort van bron naar ontvanger.

Elektromagnetische golven

Bij straling is er altijd een bron die de straling uitzendt. Straling kan bestaan uit deeltjes (zoals elektronen) of uit **elektromagnetische golven**. Je kunt die golven vergelijken met watergolven. In figuur 1 is de bron een voorwerp dat op en neer gaat en daardoor golven over het wateroppervlak stuurt. Als de golven bij het houten blokje (de ontvanger) aankomen, gaat dat op dezelfde manier op en neer bewegen. Op die manier stuurt je mobieltje (bron) de informatie van je woorden als een elektromagnetische golf naar een ontvanger op de zendmast.
Naast overeenkomsten zijn er ook grote verschillen:
- Elektromagnetische golven bewegen niet in één vlak zoals een watergolf, maar in alle richtingen.
- Elektromagnetische golven hebben geen stof zoals water of lucht nodig, maar planten zich ook voort door vacuüm.
- Elektromagnetische golven hebben in vacuüm altijd dezelfde snelheid: 299 792 458, afgerond $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Deze snelheid noem je de **lichtsnelheid** en het symbool hiervoor is c.

De **frequentie** is gelijk aan het aantal keren dat de bron per seconde op én neer beweegt. Dat is gelijk aan het aantal golven dat de bron per seconde uitzendt. De afstand tussen twee golftoppen (of golfdalen) noem je de **golflengte** (figuur 2) met als symbool λ, de Griekse letter labda.



▲ **figuur 2**
Zo bepaal je de golflengte.

Golflengte en frequentie

Elke golfbeweging heeft een frequentie f, een golflengte λ en een voortplantingssnelheid of **golfsnelheid**. Voor elektromagnetische golven geldt:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Als je c invult in m/s en f in hertz (Hz), vind je λ in m.
Bij elke frequentie hoort dus maar één golflengte. Als golflengtes heel klein zijn, worden ze niet in meter, maar in nanometer uitgedrukt. Een nanometer is een miljardste meter (1 nm = 10^{-9} m).

Voorbeeldopgave 1
Een laser straalt blauw licht uit met een golflengte van 470 nm.
Bereken de frequentie.

gegevens $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s
$\lambda = 470$ nm $= 470 \cdot 10^{-9}$ m

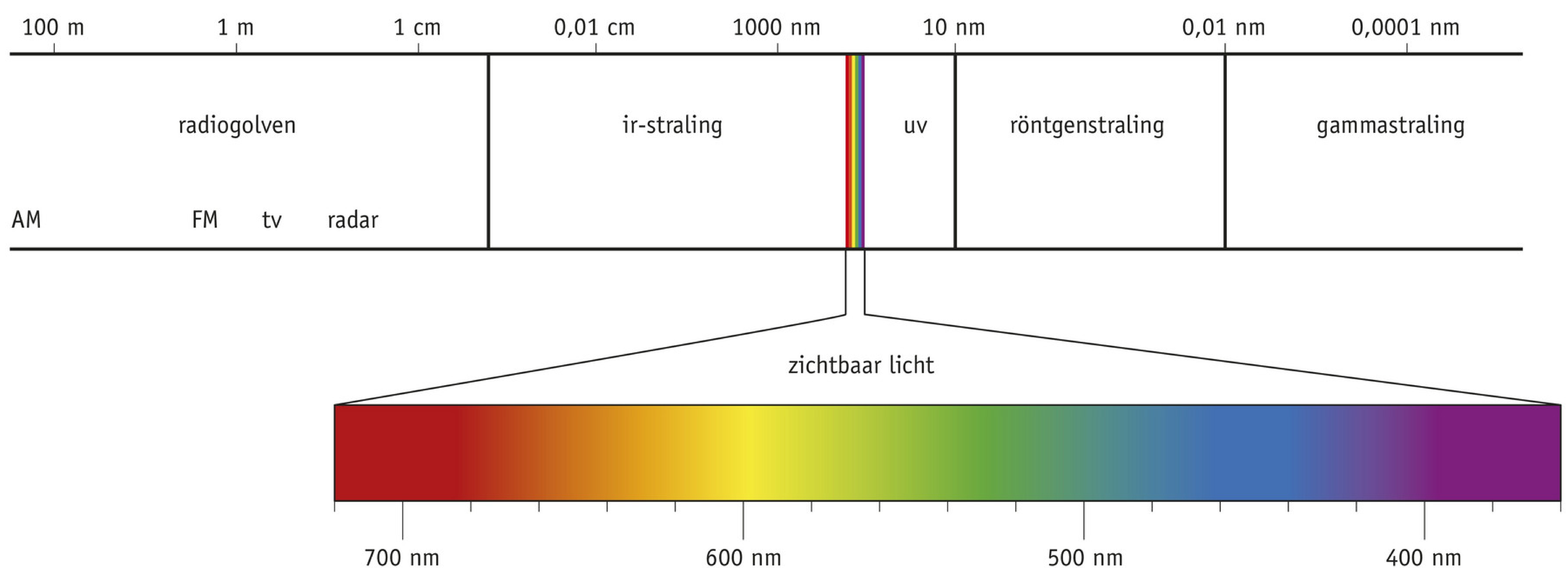
gevraagd $f = ?$

uitwerking $$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{8}}{470 \cdot 10^{-9}} = 6{,}4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Het elektromagnetisch spectrum

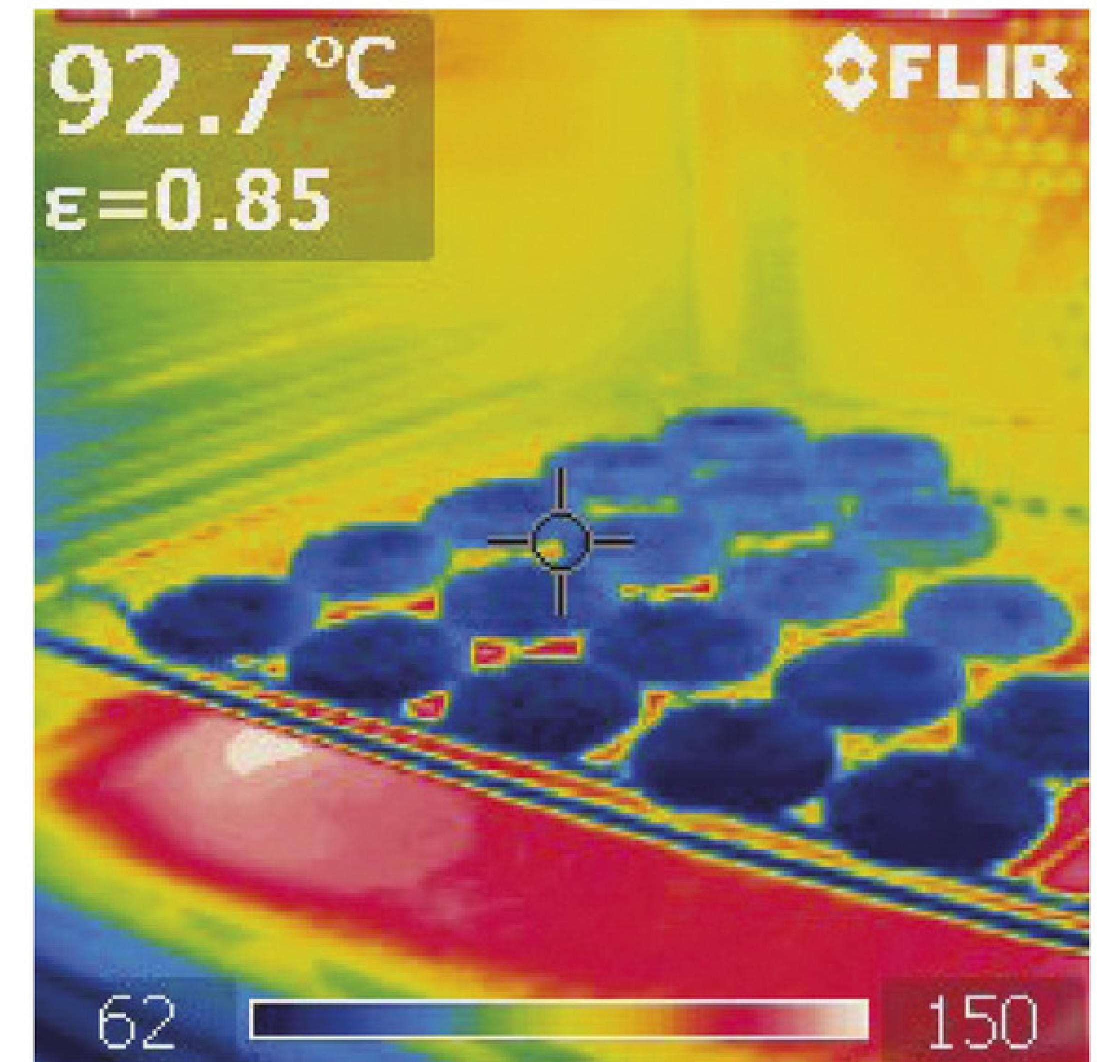
Met de theorie over elektromagnetische golven kun je in de natuurkunde een groot aantal verschijnselen beschrijven. De theorie geldt niet alleen voor licht, maar ook voor andere soorten **elektromagnetische straling**, zoals radiogolven, infrarode straling (ir-straling), ultraviolette straling (uv-straling), röntgenstraling en gammastraling.

De eigenschappen van elektromagnetische straling hangen samen met de golflengte. In figuur 3 zijn de soorten elektromagnetische straling geordend op golflengte. Er ontstaat dan een elektromagnetisch **spectrum**, van radiogolven tot gammastraling. Het spectrum van zichtbaar licht is hiervan maar een heel klein onderdeel; het loopt van 780 nm (diep rood) tot 380 nm (ver violet).



▲ **figuur 3**
het elektromagnetisch spectrum: van radiogolven tot gammastraling





▶ **figuur 4**
Infraroodfoto's worden gebruikt voor kwaliteitscontroles in de voedingsindustrie.

Zichtbaar licht is de enige soort elektromagnetische straling die mensen kunnen zien. Voor alle andere vormen van straling zijn speciale instrumenten nodig, zoals een infraroodcamera (figuur 4).

Transmissie, reflectie en absorptie

Als elektromagnetische straling op een voorwerp valt, kunnen er drie dingen gebeuren:

1 **Transmissie**: de straling wordt doorgelaten, zoals licht door een raam.
2 **Reflectie**: de straling wordt weerkaatst, zoals bij een spiegel of een witte muur.
3 **Absorptie**: de straling wordt opgenomen, zoals een zwart gordijn het licht 'opslokt' en omzet in warmte.

Die drie processen kunnen ook gezamenlijk optreden. Zo kan een deel van het licht dat op een raam valt, worden gereflecteerd, een deel wordt geabsorbeerd en een deel wordt doorgelaten.

Bij het maken van een röntgenfoto valt er **röntgenstraling** op een lichaamsdeel van de patiënt. De botten absorberen veel straling, terwijl spieren en vetweefsel de straling bijna ongehinderd doorlaten. Op de fotografische plaat achter het lichaamsdeel ontstaat dan een schaduwbeeld (figuur 5). Omdat het beeld een negatief is – licht en donker zijn omgekeerd – zijn de schaduwen wit in plaats van zwart.



◀ **figuur 5**
De gebroken bovenarm wordt ondersteund met een metalen plaat. De schaduw daarvan is nog witter dan die van de botten.

Plus Fotonen

Het is lastig om je iets voor te stellen bij straling. Er is 'iets' dat zich met zeer hoge snelheid ook door vacuüm voortplant, maar wat is dat dan?



▲ **figuur 6**
Christiaan Huygens (1629–1695) was ook beroemd door zijn waarnemingen met zelfgebouwde telescopen.

In de zeventiende eeuw stonden twee opvattingen over licht – de enige vorm van straling die men toen kende – tegenover elkaar. De Nederlandse geleerde Christiaan Huygens (figuur 6) meende dat licht zich voortplante zoals watergolven dat doen. Het medium dat bij licht hoorde, werd 'ether' genoemd maar niemand wist eigenlijk wat het was. Met zijn theorie kon Huygens allerlei verschijnselen, bijvoorbeeld lichtbreking, verklaren. Newton dacht dat licht uit een stroom deeltjes bestond en ook hij kon een aantal lichtverschijnselen verklaren.

Rond 1900 waren er nieuwe vormen van straling ontdekt en werden veel nieuwe experimenten gedaan. De resultaten daarvan waren echter niet te verklaren met de golftheorie. Dat lukte wel toen de Duitse natuurkundige Planck voorstelde om elektromagnetische straling voor te stellen als 'energiepakketjes'. Deze kregen de naam **foton** (van het Griekse *phos* = 'licht').

Natuurkundigen weten nu dat je licht kunt zien als een stroom deeltjes, maar ook als een golfverschijnsel. In de twintigste eeuw werd duidelijk dat de natuurkunde bij heel kleine afstanden (nanometers), heel anders is dan die van je dagelijkse leefomgeving. Dat beide opvattingen naast elkaar kunnen bestaan, lijkt vreemd, maar dat komt door de zeer kleine golflengte van licht.

opgaven

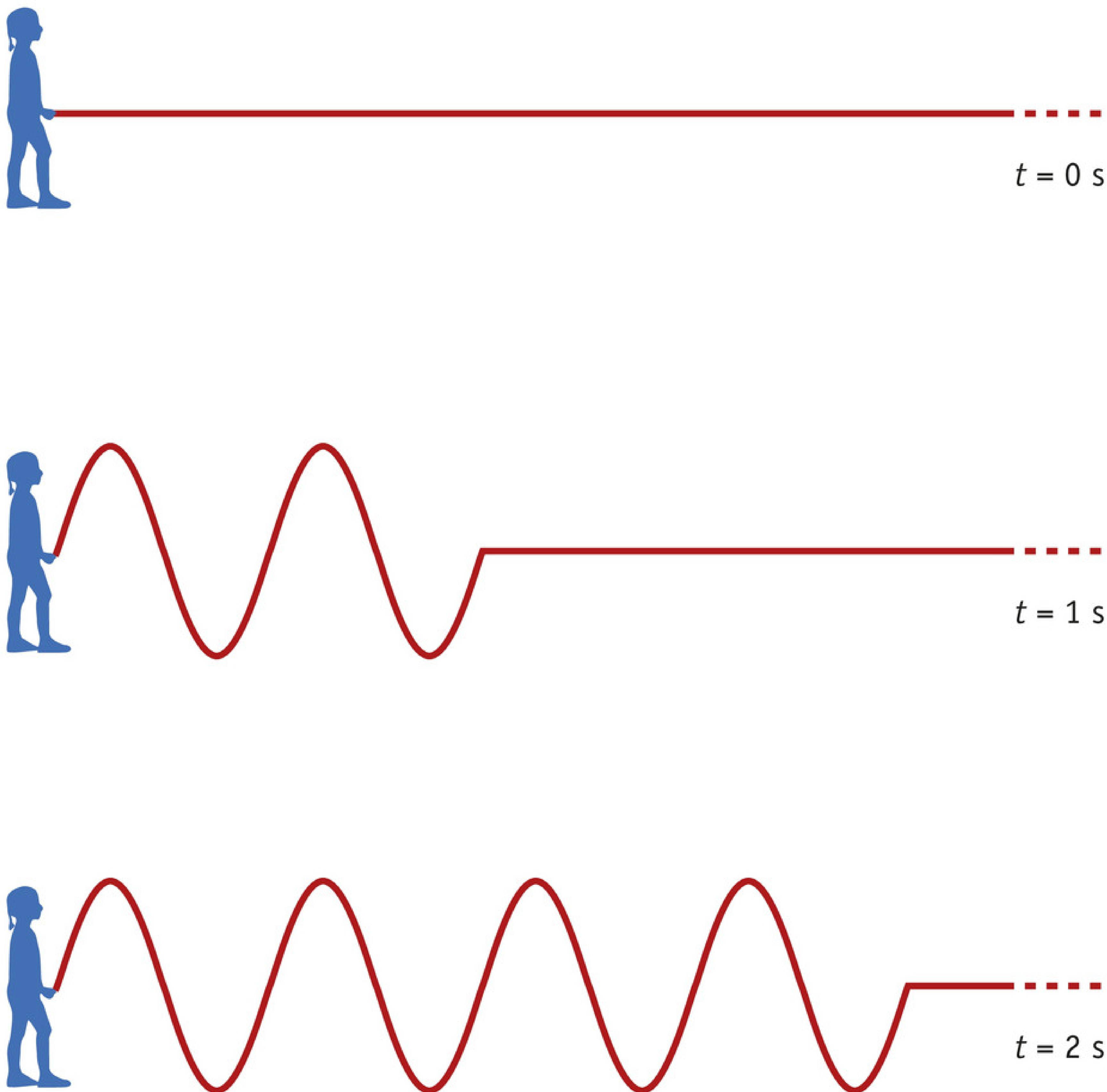
1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe groot is de snelheid van elektromagnetische golven in vacuüm?
- **b** Welke soorten straling hebben een langere golflengte dan licht?
- **c** Welk soort straling heeft een golflengte tussen 10 nm en 0,01 nm?
- **d** Welke drie dingen kunnen er gebeuren met straling die op een voorwerp valt?

2 Welk soort elektromagnetische straling:
- **a** beweegt ongehinderd dwars door een muur heen?
- **b** gaat wel door je spieren, maar niet door je botten?
- **c** wordt door je lichaam volledig tegengehouden?

3 In de wereld om je heen kom je allerlei stralingsbronnen tegen. Neem tabel 1 over en maak het overzicht af.

▼ **tabel 1** vijf stralingsbronnen

voorbeeld van een stralingsbron	soort straling
	radiogolven
radiator van een cv	
	(zichtbaar) licht
	ultraviolette straling
röntgenapparaat	



▶ **figuur 7**
een golf in een touw

4 Ilse veroorzaakt een golfbeweging in een springtouw door het ene uiteinde op en neer te bewegen. Het andere uiteinde heeft ze aan een muur vastgemaakt.
Bepaal met behulp van de gegevens in figuur 7:

a de frequentie.
b de golflengte. Let ook op de aangegeven schaal.
c de golfsnelheid.

***5** Een radiosignaal doet er tussen de 3 en 21 min over om de afstand tussen de planeet Mars en de aarde te overbruggen.

a Leg uit hoe het komt dat de benodigde tijd zo verschillend is.
b Op 6 augustus 2012 landde het Marswagentje *Curiosity* op Mars. Het signaal van de *Curiosity* kwam pas na 13 min en 48 s op aarde aan. Bereken de afstand tussen Mars en de aarde op dat moment. Geef het antwoord met een cijfer achter de komma in miljoenen kilometers.
c Bij b heb je geen rekening gehouden met de atmosfeer van de aarde. Zal de lichtsnelheid in de atmosfeer groter of kleiner zijn dan die in vacuüm? Waarom denk je dat?
d Als je de berekening bij b zou corrigeren voor een afwijkende lichtsnelheid in de atmosfeer, zul je toch hetzelfde antwoord vinden. Leg uit hoe dat komt.

▼ **tabel 2** zes soorten lasers

soort laser	golflengte (nm)
argon	1090
helium-cadmium	442
koper	511
krypton fluoride	248
robijn	694
stikstof	337

6 De straling die een laser uitzendt, heeft één vaste golflengte. In tabel 2 zie je zes soorten lasers, elk met de golflengte die hij uitzendt.

a Noteer van elke laser de soort straling die hij uitzendt.

b Noteer de kleur van het licht bij de lasers die zichtbaar licht uitzenden.

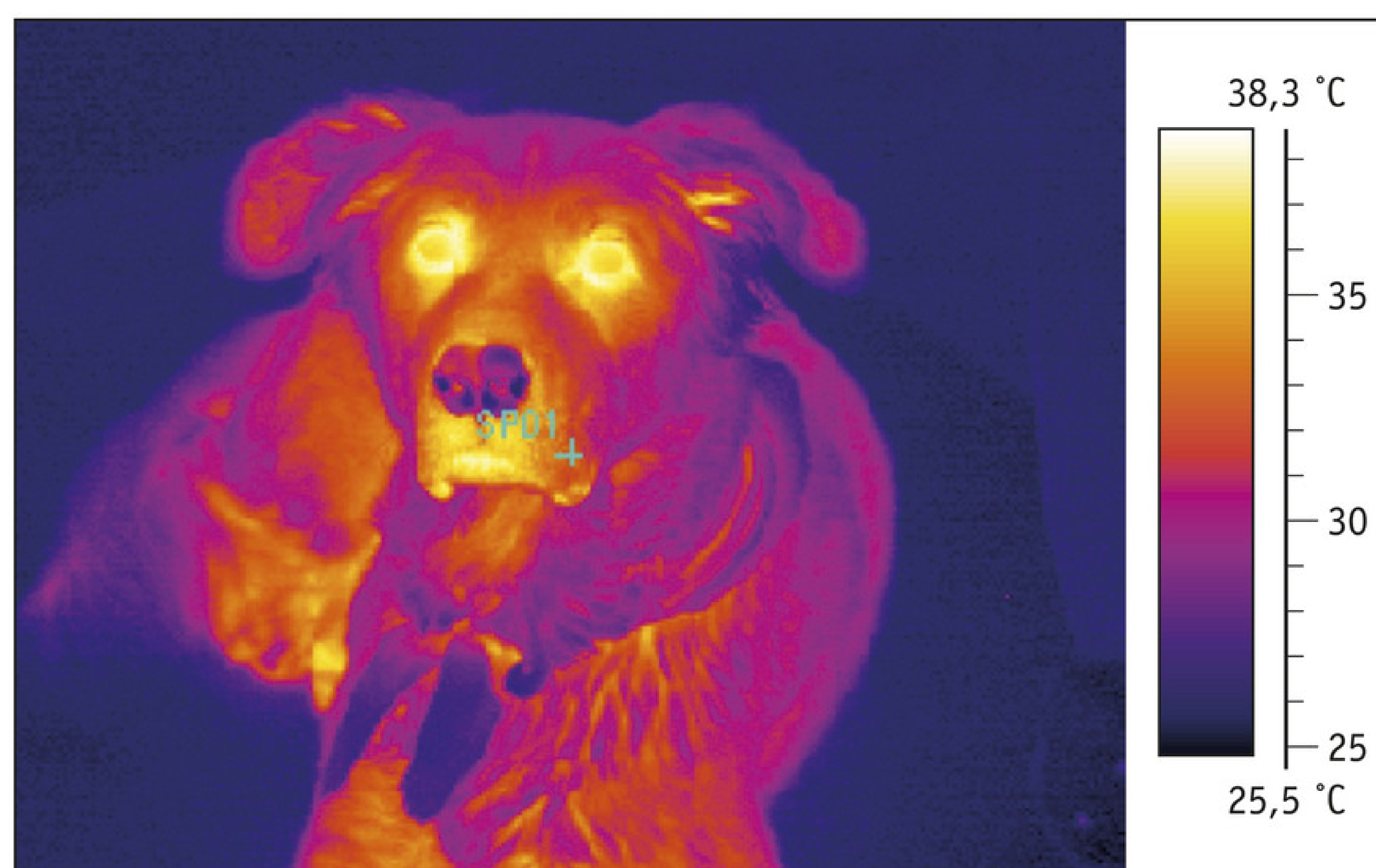
7 Bekijk de infraroodfoto in figuur 8.

a Welke lichaamsdelen van de hond hebben de hoogste temperatuur?

b Hoe hoog is deze temperatuur ongeveer?

c Welk lichaamsdeel heeft de laagste temperatuur?

d Leg uit waarom een infraroodcamera 's nachts vaak duidelijker beelden levert dan overdag.



▲ **figuur 8**
een hond in infrarood



▲ **figuur 9**
een röntgenfoto van de hals met een voorwerp dat er niet thuis hoort

8 In figuur 9 zie je een röntgenfoto van de hals van een man.

a Hoe komt het dat het voorwerp in zijn keel zo goed zichtbaar is? Leg uit.

b Zet de volgende objecten in een volgorde van weinig naar veel absorberen van röntgenstraling: *beenderen – kleding – lucht – voorwerp – weefsel*.

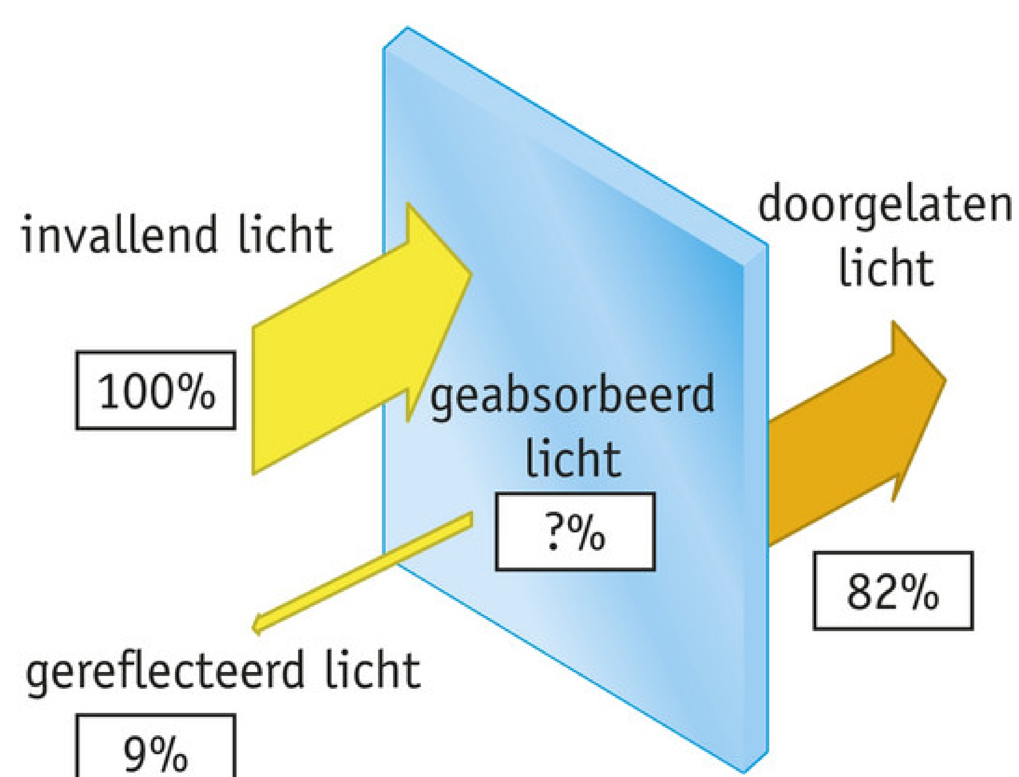
***9** Een fabriek produceert vensterglas voor grote gebouwen. In figuur 10 zie je wat er met het invallende zonlicht gebeurt bij een veelgebruikte glassoort.

a Hoeveel procent van het invallende licht wordt geabsorbeerd?

b Bij een proef worden drie van dit soort ruiten vlak achter elkaar geplaatst.
Hoeveel procent van de straling wordt dan doorgelaten?

c De fabriek levert ook glas met een coating (toplaag), waardoor een groter deel van het opvallende licht wordt weerkaatst.
Welk effect heeft de coating op het percentage:
- geabsorbeerd licht?
- doorgelaten licht?
- gereflecteerd licht?

d Door het zonlicht wordt het 's zomers in een kantoor te warm.
Helpt het dan om het glas te vervangen door glas met een coating? Leg uit.



▲ **figuur 10**
Een ruit laat straling door, maar reflecteert en absorbeert ook.

10 Met welk soort straling je te maken hebt, kun je zien aan de golflengte.

a Welke soort straling hoort bij een golflengte van:
- 10 cm?
- 0,01 cm?
- 500 nm?
- 1 nm?

b Bereken de frequentie van de straling bij 10 cm.

11 Myriam leest op de website van Radio Rijnmond: ‘Sinds 1 juli zenden wij uit op 93,4 MHz.’

a Bereken de golflengte van de radiogolven.

b Is Radio Rijnmond een AM- of een FM-zender? Leg uit.

c Bij radio onderscheidt men uitzendingen op de lange golf, de middengolf en de korte golf.
Bepaal met figuur 3 op bladzijde 281 op welke golf Radio Rijnmond uitzendt.

***12** Als het bijna donker is, registreren in je oog alleen de staafjes nog het licht. Die staafjes zijn voor golflengtes rond de 500 nm het gevoeligst.

a Leg uit waarom in het donker alles een beetje blauw ziet.

b Leg ook uit hoe je dan gekleurde voorwerpen ziet.

Plus Fotonen

13 Volgens Huygens gedroeg licht zich als een golf, volgens Newton was het een stroom deeltjes.
Welke van de volgende waarnemingen zou je kunnen verklaren met golven, welke met deeltjes en welke met beide?

a Achter een voorwerp waarop licht schijnt, ontstaat een schaduw.

b Licht kan door vacuüm bewegen.

c Licht van een ver weg gelegen ster buigt af bij het passeren van een zwaar hemellichaam.

***14** Je kunt de energie E van een foton berekenen met de formule $E = h \cdot f$.
Als je voor h de constante van Planck invult ($6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js) en voor f de frequentie (in Hz), vind je de energie in J.

a Wat is een foton?

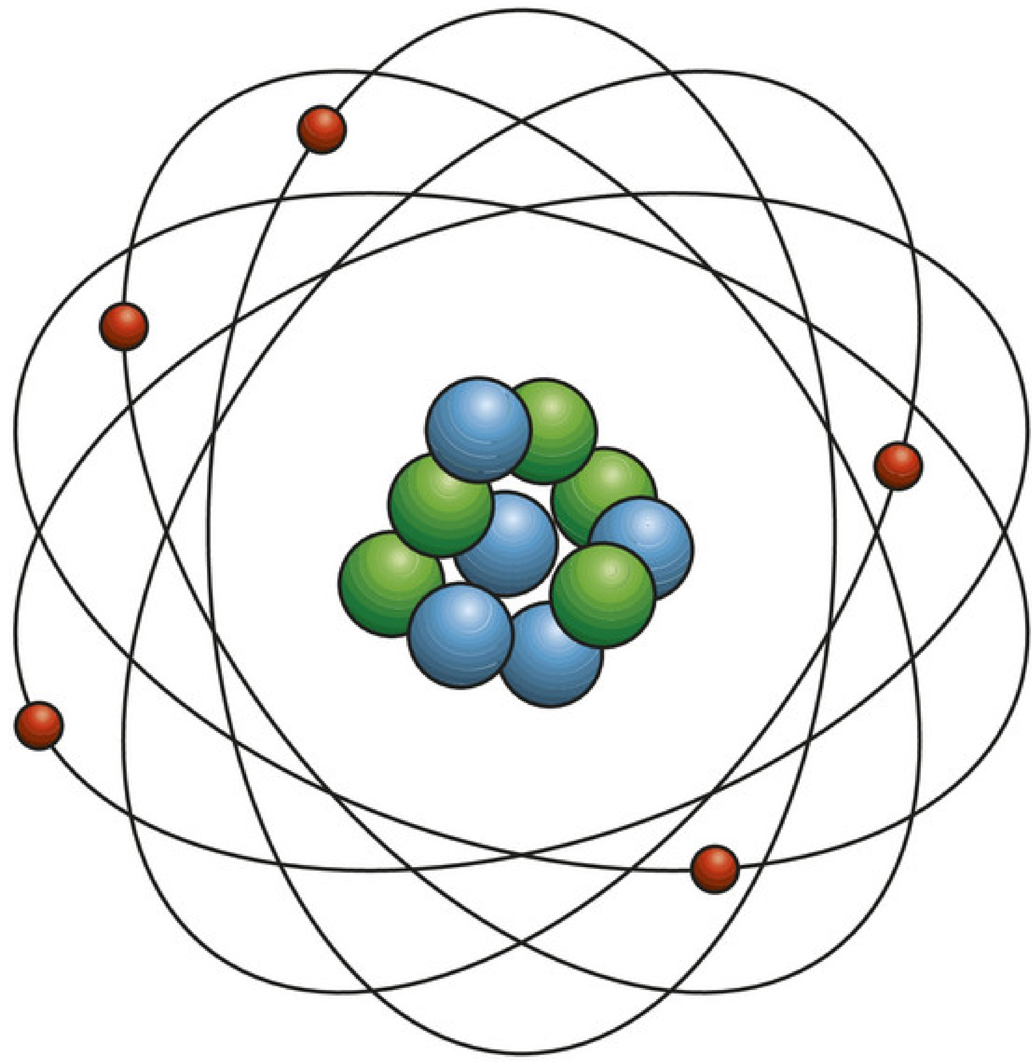
b Een natriumlamp voor straatverlichting zendt licht uit met een golflengte van 589 nm.
Bereken de frequentie.

c Bereken de energie van een foton.

d Het vermogen van de straling van een bepaald type natriumlamp is 15 W.
Bereken hoeveel fotonen er per seconde uit die lamp komen.

2 Ioniserende straling

Straling kan op allerlei manieren hinderlijk en gevaarlijk zijn. In de auto kan fel licht van een tegenligger je verblinden. Infrarode straling is alleen gevaarlijk als de straling heel intens is, zoals bij een felle brand. Bij gammastraling is dat anders: daar zijn kleine hoeveelheden al gevaarlijk.



▲ **figuur 11**
een model van een booratoom (atoomnummer 5)

De bouw van een atoom

Om te begrijpen hoe straling ontstaat, moet je iets meer weten over de bouw van het atoom. Als voorbeeld nemen we een atoom van het element boor. In figuur 11 zie je een vereenvoudigde weergave van dat atoom. Om de kern goed te kunnen zien, is die opzettelijk veel te groot getekend. In een tekening op schaal zou je de kern niet eens kunnen zien!
Zoals elk atoom bestaat het booratoom uit een positieve kern met daaromheen een wolk van negatieve elektronen. De kern is opgebouwd uit protonen en neutronen. **Neutronen** zijn ongeladen, maar **protonen** hebben een positieve lading. Ze stoten elkaar af en er moet dus een aantrekkende kracht zijn die de kern bij elkaar houdt. De **kernkracht** werkt tussen alle kerndeeltjes en is sterker dan de afstotende elektrische krachten tussen de protonen.
Een atoom heeft evenveel protonen als elektronen. Daardoor is een atoom als geheel elektrisch neutraal. De massa van een proton en van een neutron is ongeveer even groot, maar de massa van een elektron is veel kleiner.

Effecten van straling

Bij absorptie wordt de energie van de straling opgenomen. Die energie kan worden omgezet in warmte, waardoor de temperatuur stijgt. Dat gebeurt bijvoorbeeld in een auto die in de zon staat (figuur 12).

▶ **figuur 12**
Witte auto's absorberen minder licht dan zwarte auto's.



Sommige soorten straling hebben zó veel energie dat ze in staat zijn elektronen uit atomen te 'stoten'. Als een atoom een elektron verliest, wordt het een positief **ion**. Een molecuul kan door zo'n ionisatie uit elkaar vallen. Straling die atomen kan ioniseren, noem je **ioniserende straling**. Ultraviolette straling in zonlicht kan bijvoorbeeld de kleurstofmoleculen in gekleurd papier afbreken, waardoor het papier verbleekt (figuur 13). Uv-straling kan ook het DNA (het erfelijk materiaal) in je huidcellen beschadigen. Als je veel in de zon ligt, verhoog je daarmee het risico dat je huidkanker krijgt op latere leeftijd.
De mate waarin straling schadelijk is, wordt bepaald door het **ioniserend vermogen**. Radiogolven, ir-straling en licht zijn niet ioniserend. Uv-straling is zwak ioniserend. Röntgen- en gammastraling zijn sterk ioniserend en daarom moet je met deze vormen van straling extra voorzichtig zijn.





▲ **figuur 13**
Een proef met uv-straling: na twee weken in de zon is het papier zichtbaar verkleurd.

Radioactieve stoffen

In 1896 ontdekte de Franse natuurkundige Henri Becquerel dat sommige stoffen uit zichzelf ioniserende straling uitzenden. Zulke stoffen noem je **radioactief** (radio komt van *radius*, het Latijnse woord voor 'straal'). In heel kleine hoeveelheden vind je radioactieve stoffen overal: in de bodem, in het water, in de lucht, in de muren van gebouwen en zelfs in je eigen lichaam (figuur 14). Veel van deze stoffen zijn van natuurlijke oorsprong. Ze zijn **natuurlijk radioactief**. Natuurkundigen hebben na 1896 geleerd om zelf nieuwe radioactieve stoffen te maken. Zulke stoffen noem je **kunstmatig radioactief**.



▶ **figuur 14**
Paranoten bevatten wat meer radioactief radium dan andere voedingsmiddelen, maar de hoeveelheid is heel klein.

Je kunt de straling van radioactieve stoffen niet zien, horen of voelen. Daarom moeten mensen die met radioactieve stoffen werken, altijd een **dosimeter** bij zich hebben (het Griekse *dosis* betekent 'gift'). Die registreert hoeveel straling de drager bij het werk ontvangt (figuur 15).



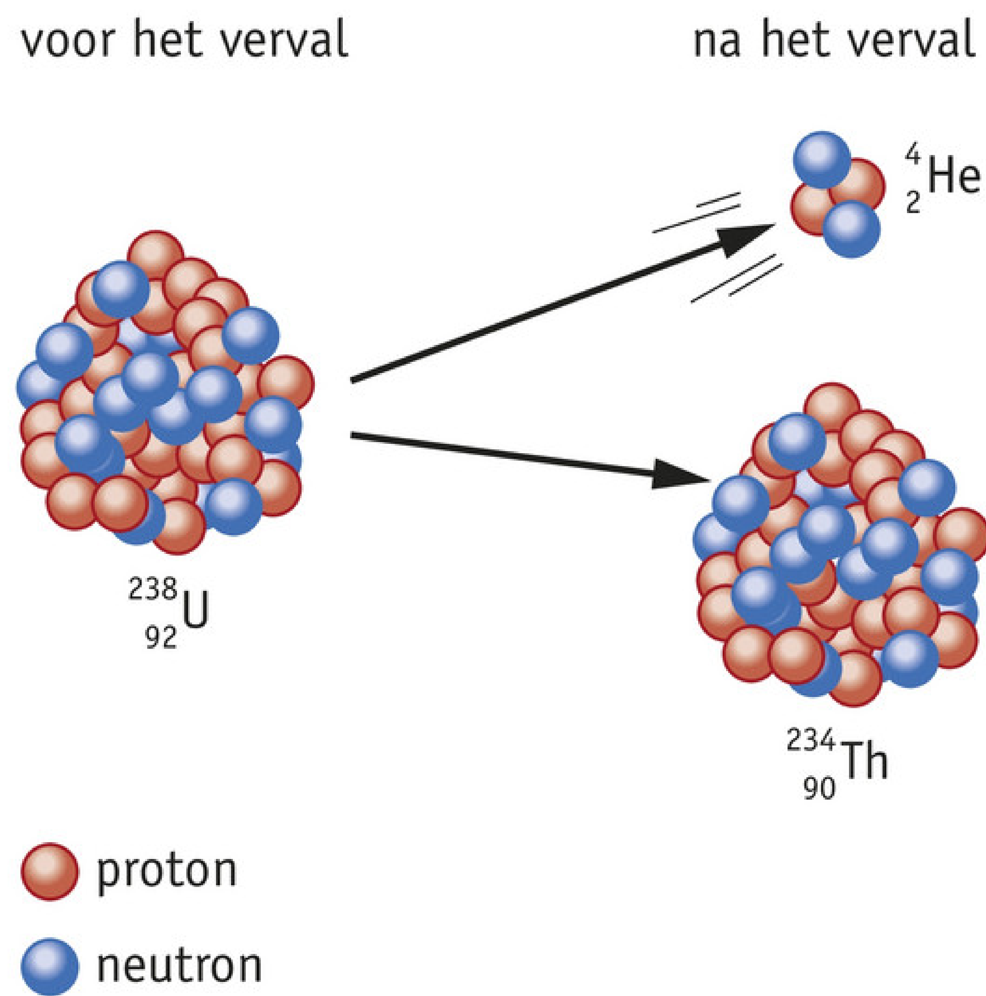
▶ **figuur 15**
een dosimeter

Radioactiviteit om je heen

Kleine hoeveelheden radioactieve stoffen zijn dus overal. De gezondheidsrisico's van elk van die stoffen zijn grondig onderzocht. Van de natuurlijk radioactieve stoffen is het gas radon-222 (Rn-222) het meest schadelijk. Het wordt gevormd door het radioactief verval van radium. En radium zit in de bodem en in bouwmaterialen, zoals baksteen en gips. Als er niet genoeg wordt geventileerd, blijft het radon in huis hangen en dat kan een risico voor de bewoners vormen.

Instabiele en stabiele kernen

Stoffen zijn radioactief, omdat ze kernen hebben die **instabiel** zijn. Een instabiele kern kan plotseling veranderen. Daarbij zendt de kern ioniserende straling uit. De meeste atoomkernen om je heen zijn **stabiel** en veranderen niet. Anders zou er op aarde geen leven mogelijk zijn.
Of een kern stabiel is of niet hangt alleen af van het aantal protonen en neutronen in de atoomkern. Omstandigheden buiten de atoomkern hebben daar geen invloed op.
Koolstof is een goed voorbeeld. Een koolstofatoom bevat altijd zes protonen en zes elektronen. Toch komen er in de natuur drie soorten koolstofatomen voor: koolstof-12 of ^{12}C met zes neutronen, koolstof-13 of ^{13}C met zeven neutronen en koolstof-14 of ^{14}C met acht neutronen in de kern. De kern van ^{12}C en ^{13}C is stabiel, de kern van ^{14}C is instabiel. Alleen ^{14}C is dus radioactief.
Koolstof heeft dus drie natuurlijke **isotopen**, waarvan er twee stabiel zijn en één instabiel (isotoop komt van het Griekse *isos* = 'gelijk' en *topos* = 'plaats').

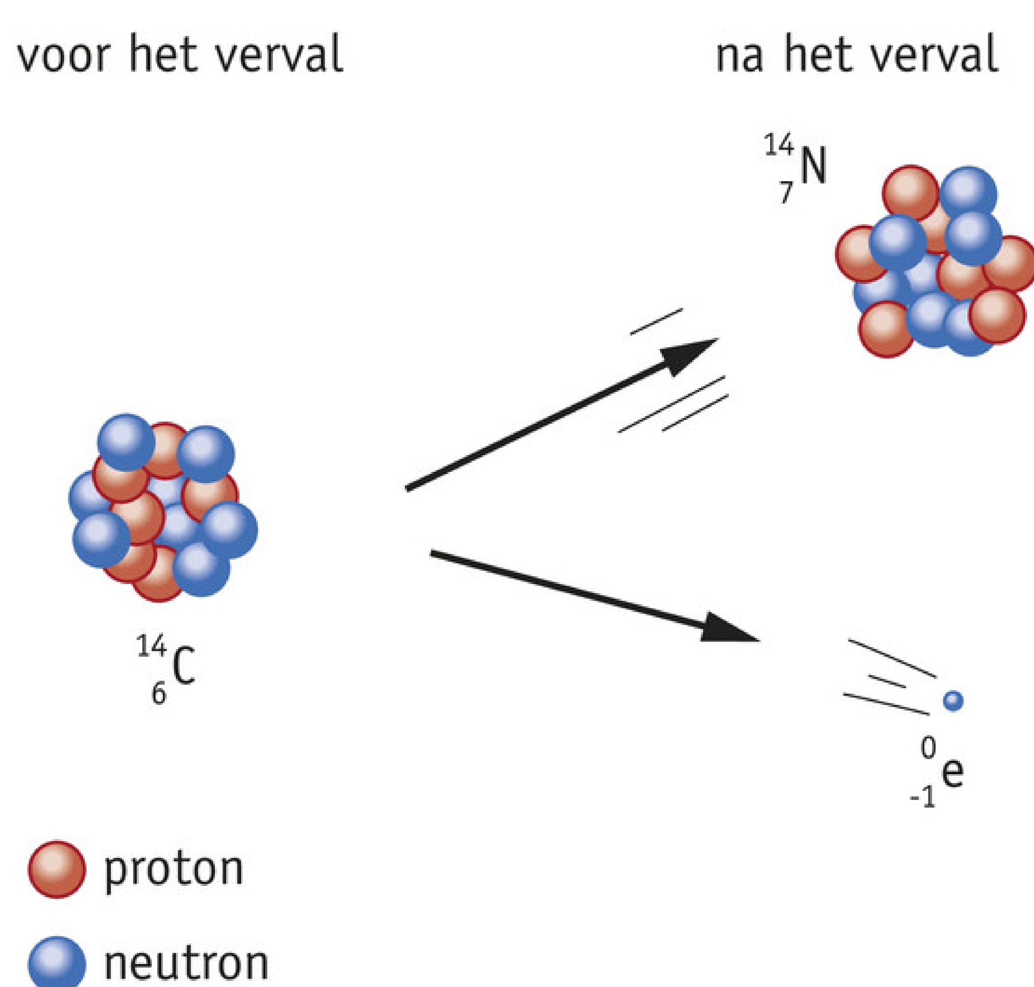


▲ **figuur 16**
Een kern van uranium-238 zendt een alfadeeltje uit.

Bij de beschrijving van radioactiviteit gebruik je voor isotopen vaak een speciale notatie. Daarin staan het massagetal en het atoomnummer beide links van het atoomsymbool, het massagetal boven en het atoomnummer onder. Koolstof-12 wordt dus geschreven als $^{12}_{6}C$, koolstof-13 als $^{13}_{6}C$, enzovoort.

Drie soorten verval

Als een instabiele kern van een atoomsoort straling uitzendt, verandert de kern in een kern van een andere atoomsoort. Daarmee verandert ook het atoom van de ene in de andere atoomsoort. Zo'n verandering noem je **(radioactief) verval**.
Je kunt het verval noteren in een vervalsvergelijking, net zoals je bij scheikunde een reactie kunt beschrijven met een reactievergelijking. Bij een vervalsvergelijking moet het aantal deeltjes en het aantal ladingen links en rechts van de pijl even groot zijn.
Er zijn drie belangrijke vormen van radioactief verval: alfa-, bèta- en gammaverval.



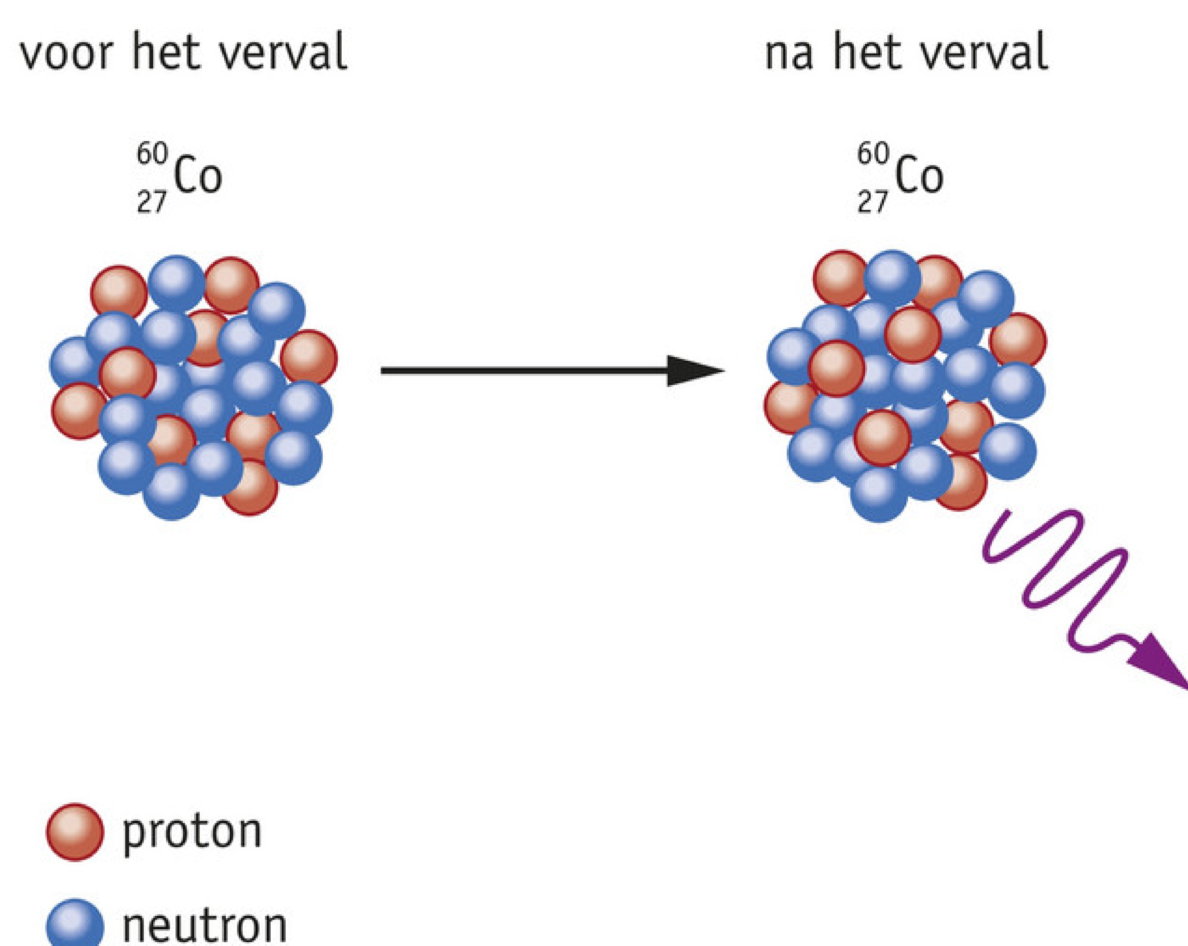
▲ **figuur 17**
Een kern van koolstof-14 zendt een bètadeeltje uit.

Alfaverval

Bij **alfaverval** (α-verval) vliegt er een **alfadeeltje** uit de kern. Zo'n deeltje heeft dezelfde samenstelling als een heliumkern: twee neutronen en twee protonen (figuur 16). Het massagetal van de atoomkern daalt hierdoor met vier en het atoomnummer met twee.
Voorbeeld: $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$
De som van de atoomnummers en de massagetallen is links en rechts van de pijl even groot.

Bètaverval

Bij **bètaverval** (β-verval) verandert een neutron in de atoomkern spontaan in een proton en een elektron. Het elektron vliegt daarna meteen uit de kern (figuur 17). Zo'n uitgestoten elektron noem je een **bètadeeltje**. Het massagetal van een bètadeeltje is 0, want het gaat niet om een proton of een neutron. Het atoomnummer is –1, omdat een elektron een lading heeft die tegengesteld is aan die van een proton. Je schrijft het bètadeeltje daarom als + $^{0}_{-1}e$.
Het massagetal verandert bij bètaverval niet, want het aantal kerndeeltjes blijft gelijk. Het atoomnummer stijgt met één, omdat er één proton en dus een positieve lading bij komt.
Voorbeeld: $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$



▲ **figuur 18**
Een kern van kobalt-60 zendt gammastraling uit.

Gammaverval

Na alfa- of bètaverval beweegt de kern heftig. De kern verliest die overtollige energie door het uitzenden van gammastraling (figuur 18). Bij **gammaverval** (γ-verval) komen geen deeltjes vrij en het massagetal en het atoomnummer veranderen dus niet.

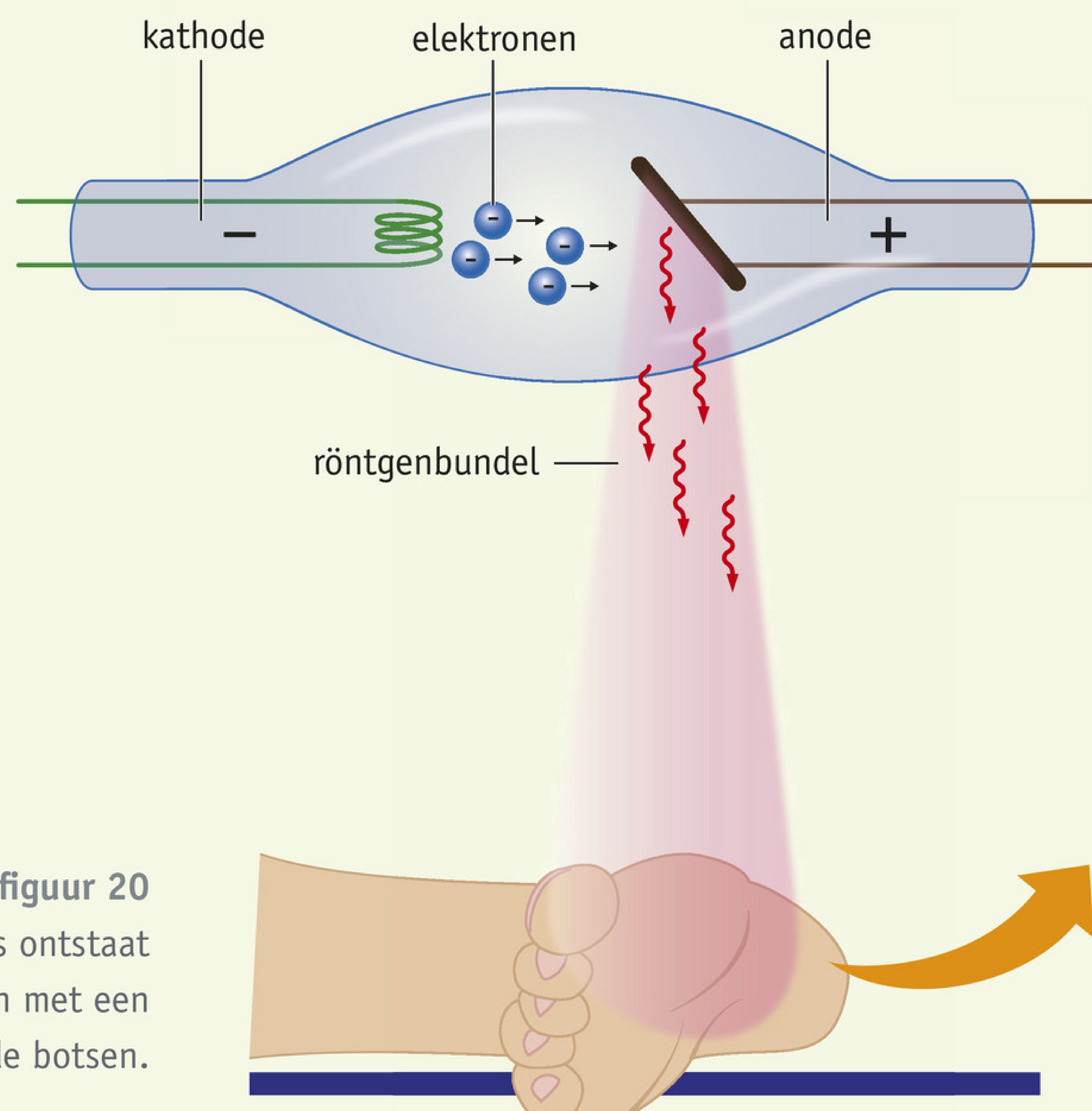
Plus Röntgenstraling

Wilhelm Röntgen was een van de vele natuurkundigen die rond 1900 onderzoek deden aan de net ontdekte elektronen. De onderzoekers gebruikten daarvoor een dikke glazen buis waaruit alle lucht is gepompt. Aan elk uiteinde zit een metalen plaatje: de **anode** en de **kathode**. Als je de kathode verwarmt, komen daar elektronen vrij. Een hoge spanning tussen de anode (positief) en de kathode (negatief) zorgt er dan voor dat er een stroom elektronen gaat lopen van de kathode naar de anode. Natuurkundigen onderzochten die elektronenstroom om zo meer te weten te komen over het elektron. In 1895 viel het Röntgen op dat elders in het laboratorium een metalen plaatje oplichtte als hij de opstelling inschakelde. Anderen hadden dat ook gezien, maar er geen aandacht aan besteed. Röntgen ging juist wel de oorzaak van dat oplichten onderzoeken. Al snel ontdekte hij dat de onbekende straling, die hij X-stralen noemde, wel door 'zachte' delen maar niet door de botten van het lichaam gaat. Zo kon hij de botten in de hand van zijn vrouw zichtbaar maken; die eerste **röntgenfoto** is wereldberoemd geworden (figuur 19).

▼ **figuur 19**
Röntgen groeide op in Apeldoorn. Deze plaquette hangt in Utrecht op een huis waarin hij tijdens zijn studie woonde. Links zie je de eerste röntgenfoto.



Röntgen ontving in 1901 de allereerste Nobelprijs voor Natuurkunde voor zijn onderzoek. Hij heeft zijn ontdekkingen nooit willen vastleggen met patenten, omdat hij vond dat de hele mensheid ervan moest kunnen profiteren. Nog steeds wordt in moderne röntgenbuizen op zijn manier röntgenstraling gemaakt (figuur 20).



▶ **figuur 20**
In een röntgenbuis ontstaat röntgenstraling als de elektronen met een hoge snelheid op de anode botsen.

opgaven

15 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke soort elektromagnetische straling heeft een zwakke ioniserende werking?
- **b** Waarom moeten sommige werknemers altijd een dosimeter bij zich hebben?
- **c** Waarvan is het afhankelijk of de kern van een atoom stabiel is of instabiel?
- **d** Hoe verandert een atoomkern als die een alfadeeltje uitstoot?
- **e** Hoe heet de kracht die de kern bij elkaar houdt?

16 Het element koolstof komt in de natuur in verschillende vormen voor.
- **a** Hoe heten de verschillende vormen van een element, zoals ^{12}C en ^{13}C?
- **b** Hoe noem je het getal 12 in ^{12}C? Wat vertelt dit getal je over het atoom?
- **c** Hoe groot is het atoomnummer van koolstof? Wat zegt dit getal over het atoom?

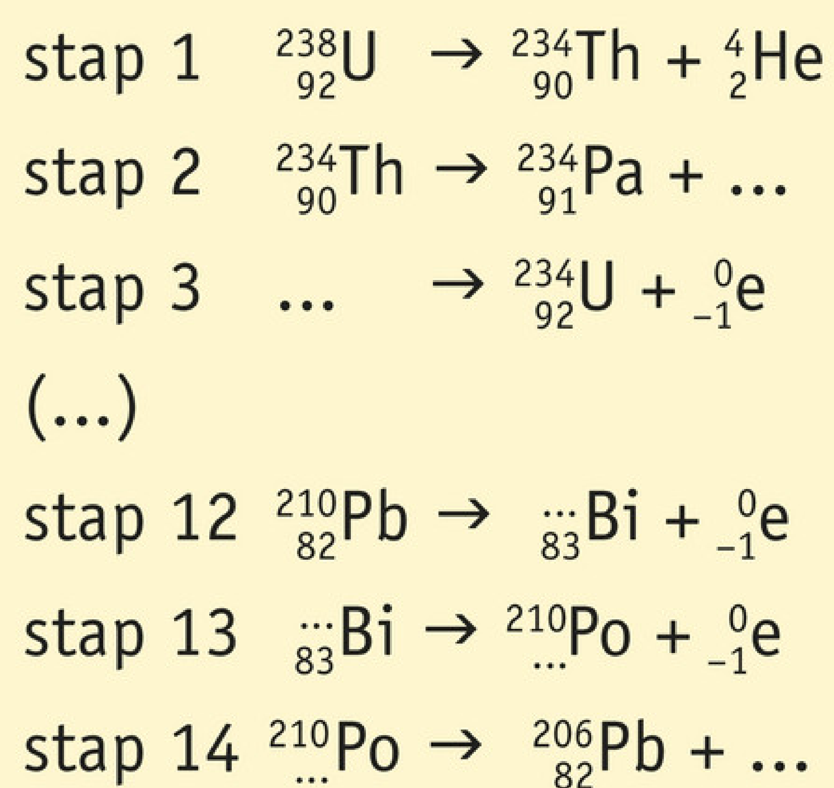
17 Bij welke vorm van radioactief verval:
- **a** veranderen het massagetal en het atoomnummer allebei niet?
- **b** stijgt het atoomnummer?
- **c** daalt het massagetal?

18 Een bekende radioactieve stof is plutonium-240: $^{240}_{94}$P.
- **a** Hoeveel protonen zitten er in de kern?
- **b** Hoeveel neutronen zitten er in de kern?
- **c** Hoeveel elektronen zitten er in een plutonium-240 atoom?

19 Leg uit welk soort straling wordt uitgezonden:
- **a** als lood-204 vervalt, zonder in een andere isotoop te veranderen.
- **b** als nikkel-63 door radioactief verval verandert in koper-63.
- **c** als radium-224 door radioactief verval verandert in radon-220.

20 Zoek op internet informatie over het element radium.
- **a** Hoeveel isotopen heeft radium?
- **b** Komt radium ook in de natuur voor of zijn alle isotopen kunstmatig?
- **c** Hoe groot is het aantal protonen en neutronen in een radium-226 kern?
- **d** Welke atoomsoort ontstaat bij het radioactief verval van radium-228?

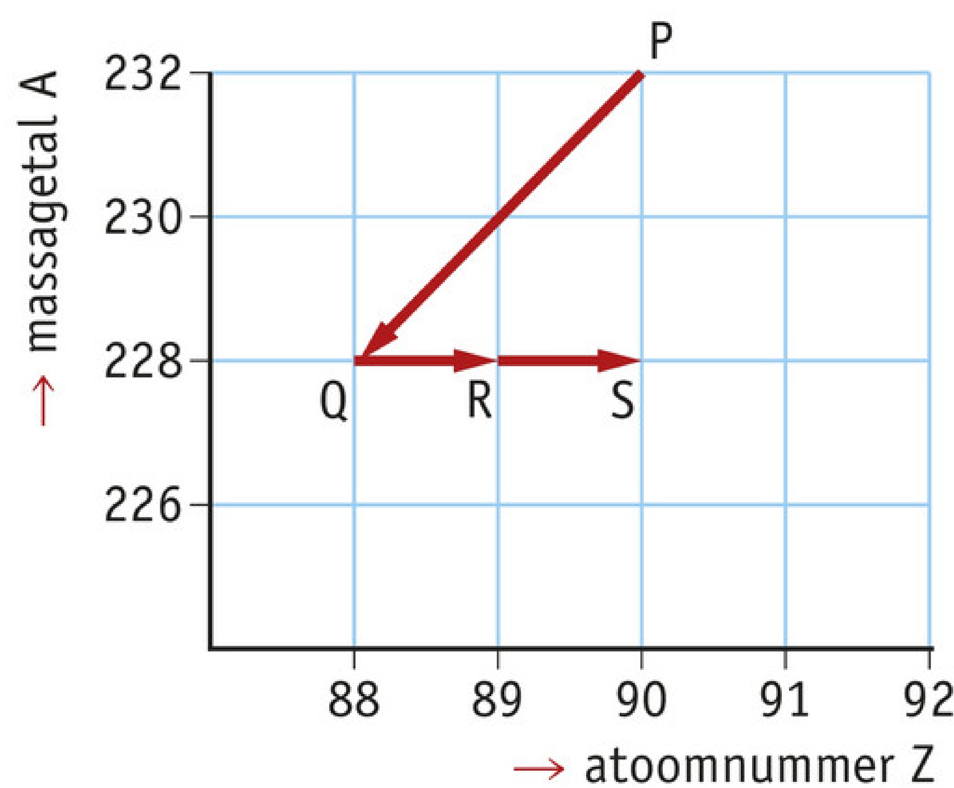
21 De isotopen die bij radioactief verval ontstaan, kunnen zelf ook weer radioactief zijn. Die vervallen dan ook weer en zo ontstaat er een reeks vervalstappen na elkaar. De laatste vervalstap levert dan een stabiele atoomkern op.
In figuur 21 zie je zes stappen van de vervalreeks waardoor uranium-238 vervalt tot (stabiel) lood-206. Enkele gegevens zijn daarbij weggelaten.
Noteer wat er nog ontbreekt:
- **a** bij stap 2.
- **b** bij stap 3.
- **c** bij stap 12.
- **d** bij stap 13.
- **e** bij stap 14.



▲ **figuur 21**
de vervalreeks van uranium-238

***22** Geef de vervalsvergelijking als:
- **a** plutonium-240 door alfaverval overgaat in uranium.
- **b** radium-224 verandert in radon 220.

***23** Opeenvolgende vervalreacties van radioactieve isotopen kunnen handig worden weergegeven in een zogeheten (A,Z)-diagram. In een (A,Z)-diagram is het aantal kerndeeltjes (A) van een isotoop uitgezet tegen het aantal protonen (Z). Een vervalproces wordt in het diagram door pijlen weergegeven. In bijgaand diagram is te zien dat een instabiele kern P vervalt naar kern Q, waarna deze vervalt naar kern R. Uiteindelijk vervalt deze naar de stabiele kern S.
Leg met figuur 22 uit:
- **a** welk deeltje bij het verval van P naar Q wordt uitgezonden.
- **b** welk deeltje bij het verval van Q naar R wordt uitgezonden.
- **c** welke twee kernen in het rijtje P, Q, R en S isotopen zijn.



▲ **figuur 22**
een (A,Z)-diagram

24 Vlees, kruiden en producten waarin eieren zijn verwerkt, kunnen besmet zijn met bacteriën zoals Salmonella. Bij exportproducten wordt vaak gammastraling gebruikt om de bacteriën te doden.
- **a** Denk je dat de producten radioactief worden door bestraling?
- **b** Je kunt de bacteriën ook doden door het product te verhitten. Waarom is dat in deze voorbeelden geen aantrekkelijke methode?
- **c** Wat is het nadeel van het bestrijden van bacteriën met conserveringsmiddelen?
- **d** In een supermarkt kun je kiezen uit garnalen die doorstraald zijn, verhit zijn of met conserveringsmiddelen behandeld. Welke kies je en waarom?

***25** Lees de tekst in figuur 23, een gedeelte uit een artikel.
- **a** Leg uit dat er een ongeladen deeltje ontstaat, als een proton en een elektron samensmelten.
- **b** De dichtheid van een neutronenster is gemiddeld genomen zo'n $1{,}0 \cdot 10^{17}$ kg/m^3. In figuur 23 wordt een bewering gedaan over de massa van 'een theelepel neutronenster'. Ga met een berekening na of deze bewering juist kan zijn. Schat daartoe eerst met hoeveel cm^3 'één theelepel' overeenkomt.

▼ **figuur 23**
Een neutronenster ontstaat na de explosie van een zware ster.

Neutronensterren

Als hele grote sterren 'sterven' en hun kern instort, kan er een zogenaamde neutronenster ontstaan. Onder invloed van de zwaartekracht wordt de druk in de kern van zo'n ster zó groot dat de atomen als het ware worden samengeperst: protonen en elektronen smelten samen tot neutronen. Neutronensterren hebben een diameter van ongeveer 20 kilometer waarin alle massa is samengepakt. De dichtheid van zo'n ster is zó groot dat een enkele theelepel materie een miljard ton zou wegen!
Bron: De nieuwe ster



Plus Röntgenstraling

26 Röntgenstraling wordt ook buiten de medische wereld gebruikt. Zoek een aantal van die toepassingen en leg uit waarom deze straling daar wordt gebruikt.

27 Tandartsen maken vaak röntgenfoto's van tanden en kiezen. In figuur 24 zie je zo'n foto. Op de lichte delen is weinig straling op de 'fotoplaat' gevallen.

- **a** Leg uit waarom röntgenfoto's nuttige hulpmiddelen zijn voor tandartsen.
- **b** Laten vullingen veel of weinig straling door?
- **c** Welk deel van het gebit laat de meeste straling door?
- **d** Bij het maken van een röntgenfoto gaat de tandarts eerst de behandelkamer uit en maakt dan de foto. Waarom doet ze dat?
- **e** De tandarts stelt voor foto's te maken van je hele gebit. Noem daarvan een voordeel en twee nadelen.



▶ **figuur 24** een röntgenfoto van een deel van een gebit

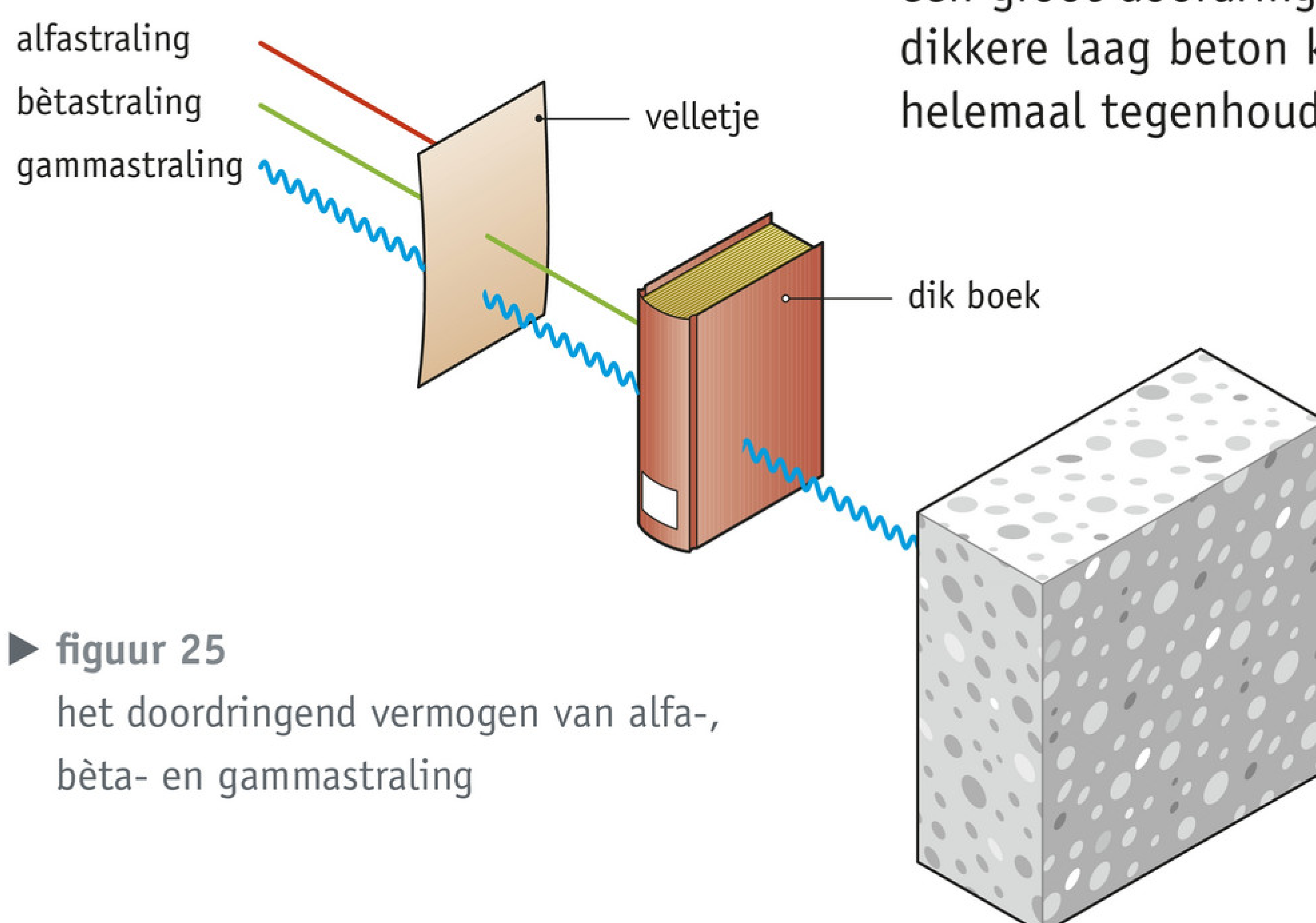
3 Bescherming

Ioniserende straling veroorzaakt schade in je lichaam en een hoge dosis straling is zelfs levensgevaarlijk. Er zijn daarom strenge veiligheidsregels voor het werken met radioactieve stoffen. Maar sommige patiënten worden juist expres bestraald of zelfs besmet.

Doordringend vermogen

Een radioactieve stof is een bron van energierijke deeltjes en/of elektromagnetische golven. De soorten straling verschillen sterk van elkaar in hun **doordringend vermogen**. De ene soort dringt veel dieper in stoffen door dan de andere soort (figuur 25):

- **Alfastraling**. Een alfadeeltje is vrij zwaar en kan daardoor relatief gemakkelijk atomen ioniseren. Het verliest dan snel zijn energie en dringt daardoor niet ver door in stoffen. Een vel papier, een paar centimeter lucht of de hoornlaag van je huid houdt alfadeeltjes al tegen.
- **Bètastraling**. Een bètadeeltje is veel lichter dan een alfadeeltje en het ioniserend vermogen is daardoor kleiner. De bètadeeltjes dringen daardoor dieper in stoffen door dan alfadeeltjes. Een paar meter lucht, een dun plaatje aluminium of glas of dit leerboek houdt bètastralen tegen.
- **Gammastraling** bestaat uit elektromagnetische golven en heeft een groot doordringend vermogen. Een dikke laag lood of een nog dikkere laag beton kan gammastraling grotendeels tegenhouden, maar helemaal tegenhouden lukt nooit.

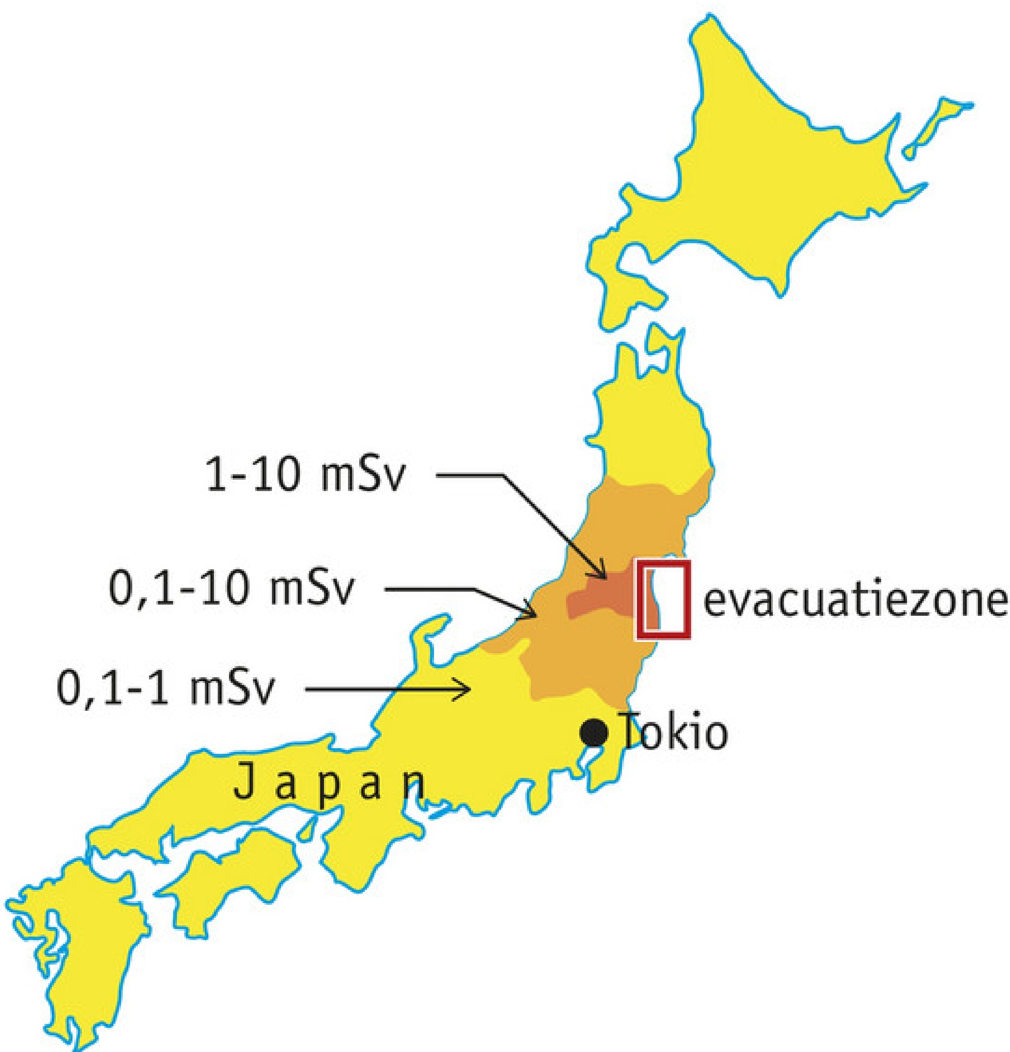


▶ **figuur 25**
het doordringend vermogen van alfa-, bèta- en gammastraling

Gevaren van straling

Alfa-, bèta- en gammastraling zijn alle drie ioniserend. Een alfadeeltje dringt maar een kleine afstand door in een materiaal, maar veroorzaakt wel duizenden ionisaties voordat het zijn energie heeft verloren.

geschatte dosis één jaar na de kernramp



▲ **figuur 26**
de stralingsbelasting na de kernramp in Fukushima, aangegeven in mSv



▲ **figuur 27**
Een patiënt wordt voorbereid om te worden bestraald.

In een cel kan zo'n deeltje dan grote schade veroorzaken. Ook bèta- en gammastraling kunnen zo cellen beschadigen.
De grootte van de schade hangt af van:

– de hoeveelheid stralingsenergie die iemand absorbeert: hoe groter die hoeveelheid energie, des te groter is de schade;
– de soort straling: bij een even grote hoeveelheid geabsorbeerde energie richt alfastraling veel meer schade aan dan bèta- of gammastraling.

Ioniserende straling kan ook het DNA in een cel beschadigen. In de loop van de evolutie van de mens zijn er mechanismen ontstaan in de cel die schade aan het DNA weer kunnen repareren. Dat verkleint de kans dat je ziek wordt door blootstelling aan ioniserende straling.

Dosis

De **equivalente dosis** *H* is een maat voor de kans op biologische schade door bestraling. De eenheid van de equivalente dosis is de sievert (Sv), maar meestal gebruik je de mSv (figuur 26).
Bij de berekening van de equivalente dosis is rekening gehouden met de relatief grotere schade door alfastraling. Een dosis van 1 Sv alfastraling is daardoor even schadelijk als een dosis van 1 Sv bèta- of gammastraling.
In tabel 3 zie je de gezondheidseffecten van verschillende doses straling.

▼ **tabel 3** de gevolgen van straling

equivalente dosis (mSv)	effect op het lichaam
0-250	geen merkbare effecten
250-1000	misselijkheid en verlies van eetlust; beenmerg en lymfeklieren worden aangetast
1000-3000	ernstige misselijkheid; verlies van eetlust; infecties; tijdelijke vermindering witte bloedcellen; ernstige schade aan beenmerg en lymfeklieren
3000-6000	bloedingen; infecties; diarree; huidschade; onvruchtbaarheid
6000-10 000	aantasting centrale zenuwstelsel; slachtoffers overlijden binnen een paar dagen
> 10 000	bewusteloosheid of coma; slachtoffers overlijden binnen enkele uren

Radiotherapie

Bij **radiotherapie** worden tumoren bestreden met **bestraling**. Kankercellen delen snel en zijn daardoor veel gevoeliger voor stralingsschade dan gezonde cellen. Bestraling kan van buitenaf (uitwendige bestraling) of van binnenuit (inwendige bestraling).
Voor uitwendige bestraling gebruikt de arts röntgenstraling of gammastraling (figuur 27). Tijdens de behandeling draait de stralingsbron langzaam om het lichaam heen waarbij de straling op de tumor gericht blijft. Zo wordt de schade aan het omringende gezonde weefsel tot een minimum beperkt. Omdat er alleen straling van buiten komt, wordt de patiënt niet radioactief.

Bij inwendige bestraling kan de arts met een holle naald een klein stukje radioactief materiaal in het aangetaste weefsel plaatsen. Het voordeel hiervan is dat de straling precies in de tumor wordt geabsorbeerd. Voor inwendige bestraling gebruiken artsen zowel gamma- als bètastraling. Omdat de stralingsbron nu in de patiënt zit, is deze radioactief en moet hij of zij korte tijd in afzondering worden verpleegd.



▲ **figuur 28**
Een container voor het vervoer van radioactieve stoffen: de binnen- en de buitenwand zijn van staal, met daartussen een dikke laag lood.

Bescherming

Door het grote doordringend vermogen is gammastraling bij uitwendige bestraling verreweg het gevaarlijkst. Mensen die met radioactieve bronnen werken, moeten daarom:

- de afstand tot de bron zo groot mogelijk maken. Straling verspreidt zich als het bij de bron vandaan beweegt, en wordt daardoor steeds zwakker;
- de tijd in de buurt van de bron zo kort mogelijk houden;
- afschermingsmateriaal zoals lood (ρ = 11,3 g/cm^3) gebruiken. Hoe groter de dichtheid van het materiaal, des te beter werkt de afscherming (figuur 28).

Besmetting voorkomen

Bij **besmetting** is er een ongewone radioactieve bron in of op je lichaam terechtgekomen. Het woord ‘ongewoon’ staat hier, omdat je lichaam van nature al radioactieve stoffen bevat. Het gaat dus om bronnen die van nature niet in je lichaam thuishoren. Je lichaam krijgt daardoor niet alleen stralingsschade, maar wordt zelf ook een radioactieve bron. Besmetting kan ontstaan bij een ongeluk met een radioactieve bron of door het eten van voedsel dat besmet is geraakt na een ongeluk met een kerncentrale (figuur 29).

Besmetting hoeft niet in één keer plaats te vinden. Radioactieve stoffen kunnen zich ook langzamerhand in bepaalde organen ophopen. Zo hoopt radioactief jood zich net als gewoon jood op in de schildklier. Calcium, strontium en radium concentreren zich in de botten.



▶ **figuur 29**
Je moet een beschermend pak dragen bij het nemen van een monster van mogelijk radioactief besmet water.

Om besmetting te voorkomen zijn er veel veiligheidsregels rond radioactiviteit. Je mag bijvoorbeeld niet eten of drinken in de buurt van radioactieve bronnen. Een werknemer die per ongeluk uitwendig besmet raakt, moet zijn besmette kleding uittrekken, weggooien en gaan douchen. Daarmee kan hij de radioactieve stoffen van zijn huid en haren wegspoelen.

Plus Dracht en halveringsdikte

Alfa- en bètastraling laten in een voorwerp een spoor van ionisaties achter. Bij elke ionisatie verliest het deeltje wat energie. Als de energie op is, kan de straling niet verder doordringen. De maximale indringdiepte noem je de **dracht**. De dracht hangt af van het materiaal van het voorwerp en van de energie van de deeltjes (tabel 4 en 5). Omdat de joule onhandig groot is, gebruiken we de eenheid **mega-elektronvolt**. Daarbij is 1 MeV = $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J.

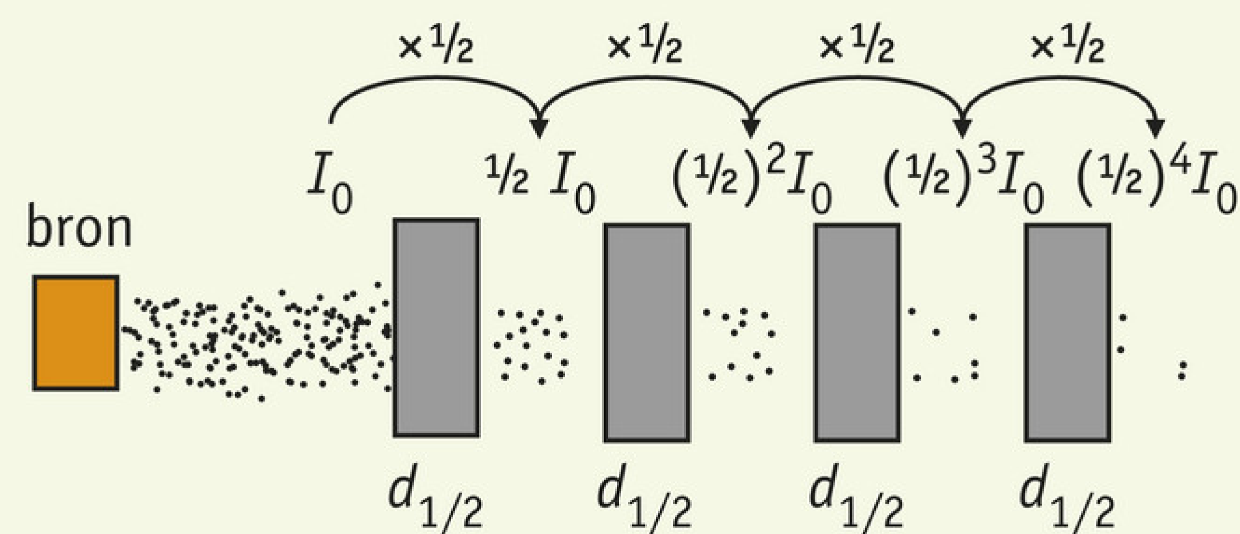
▼ **tabel 4** dracht van alfastraling in lucht en weefsel

energie van de alfadeeltjes (MeV)	dracht in lucht (cm)	dracht in weefsel (mm)
1,0	0,5	0,006
2,0	1,0	0,01
3,0	1,7	0,017
9,7	10,0	0,1

▼ **tabel 5** dracht van bètastraling in lucht en aluminium

energie van de bètadeeltjes (MeV)	dracht in lucht (cm)	dracht in aluminium (mm)
0,5	130	0,56
1,0	280	1,4
2,0	760	3,6
4,0	1900	19

Gamma- en röntgenstraling worden nooit helemaal door een voorwerp geabsorbeerd. Er komt altijd wel een beetje straling doorheen. Gamma- en röntgenstraling hebben daardoor geen dracht. De **halveringsdikte** $d_{½}$ geeft aan hoeveel straling een voorwerp absorbeert. Als je een voorwerp even dik maakt als de halveringsdikte, wordt de intensiteit van de straling I gehalveerd (figuur 30). Als je het voorwerp 2× zo dik maakt, daalt de intensiteit van de doorgelaten straling naar 25%, enzovoort.



▶ **figuur 30**
Met elke halveringsdikte wordt de intensiteit van de straling gehalveerd.

opgaven

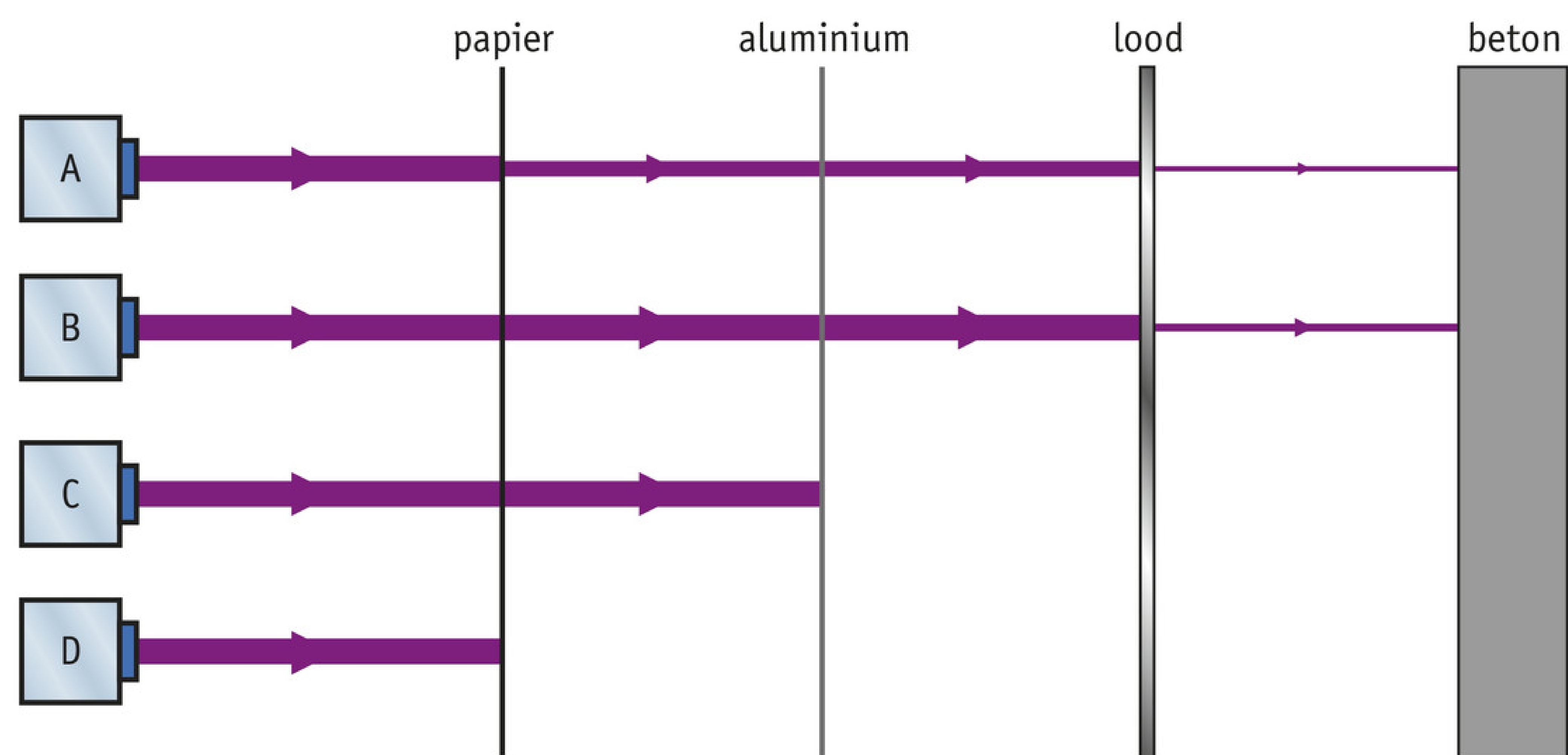
28 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke straling heeft het grootste doordringend vermogen: alfa- of bètastraling?
b Wat wordt bedoeld met de 'equivalente dosis'?
c In welke eenheid meet je die?
d Wat is het verschil tussen bestraling en (radioactieve) besmetting?

29 Leg uit:

a waarom gammastraling gevaarlijker is dan alfastraling en bètastraling bij uitwendige bestraling.
b waarom alfastraling gevaarlijker is dan bètastraling en gammastraling bij inwendige bestraling.
c waarom lood veel wordt gebruikt voor de afscherming van gammabronnen.

30 Esther plaatst vier radioactieve bronnen voor plaatjes van verschillend materiaal (figuur 31). De dikte van de pijlen is een maat voor de hoeveelheid straling. Ze weet dat één bron alleen alfastraling uitzendt, één bron alleen bètastraling, één bron alleen gammastraling en één bron zowel alfastraling als gammastraling.
Geef van elke bron aan welk(e) soort(en) straling die uitzendt. Leg uit.



▶ **figuur 31**
de proef van Esther met vier radioactieve bronnen

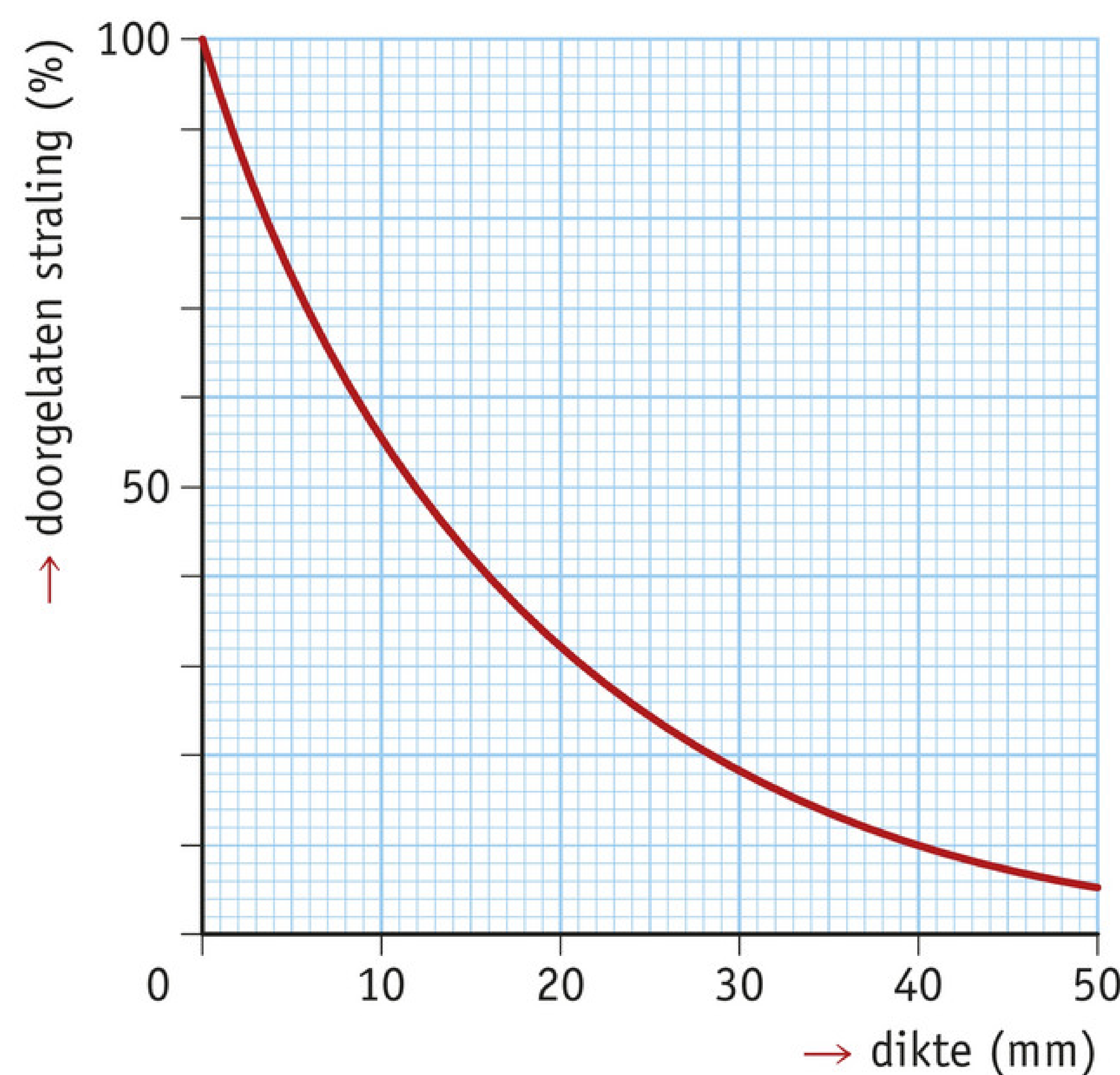
31 Een alfastraler kan veel schade aanrichten als hij in je lichaam terechtkomt.

a Leg uit wat hier wordt bedoeld met 'een alfastraler'.
b Hoe kan een alfastraler in je longen terechtkomen?
c Alfastralers kunnen gemakkelijk in je longen blijven 'plakken'. Leg uit waarom dat erg nadelig is.

32 Lood wordt vaak gebruikt voor afscherming tegen gammastraling.

a Bepaal met figuur 32 hoe dik een loden afscherming moet zijn:
- om 50% van de opvallende gammastraling te absorberen.
- om 90% van de opvallende gammastraling te absorberen.

b Een container bevat een radioactieve bron die gammastraling uitzendt. De container heeft loden wanden met een dikte van 4,5 cm.
Bepaal hoeveel procent van de uitgezonden gammastraling de container tegenhoudt.



▶ **figuur 32**
Hoe dikker de laag lood, hoe meer gammastraling wordt tegengehouden.

33 De veiligheidsregels voor het werken met stralingsbronnen zijn gebaseerd op vier uitgangspunten: een grote afstand, een korte tijd, een goede afscherming en het voorkomen van besmetting.
Geef van elke regel van figuur 33 aan op welk uitgangspunt die is gebaseerd.

34 Vliegtuigbemanningen worden tijdens het vliegen op grote hoogte blootgesteld aan extra ioniserende straling vanuit de ruimte. De extra dosis mag niet hoger zijn dan 2 mSv per jaar.

a Leg uit waarom men voor vliegtuigbemanningen een extra dosis acceptabel acht.

b In Nederland ontvangt iedereen gemiddeld 2,5 mSv per jaar uit allerlei bronnen. Een vlucht van Amsterdam naar Tokio levert een extra dosis op van 0,075 mSv.
Met hoeveel procent stijgt je dosis door een retourvlucht Amsterdam-Tokio? Vind je dat veel?

c Voor een zwanger bemanningslid geldt een maximale extra dosis van 1 mSv.
Leg uit waarom voor een zwangere vrouw het maximum lager is.

d Hoe vaak mag een zwangere stewardess een retourvlucht Amsterdam-Tokio maken?



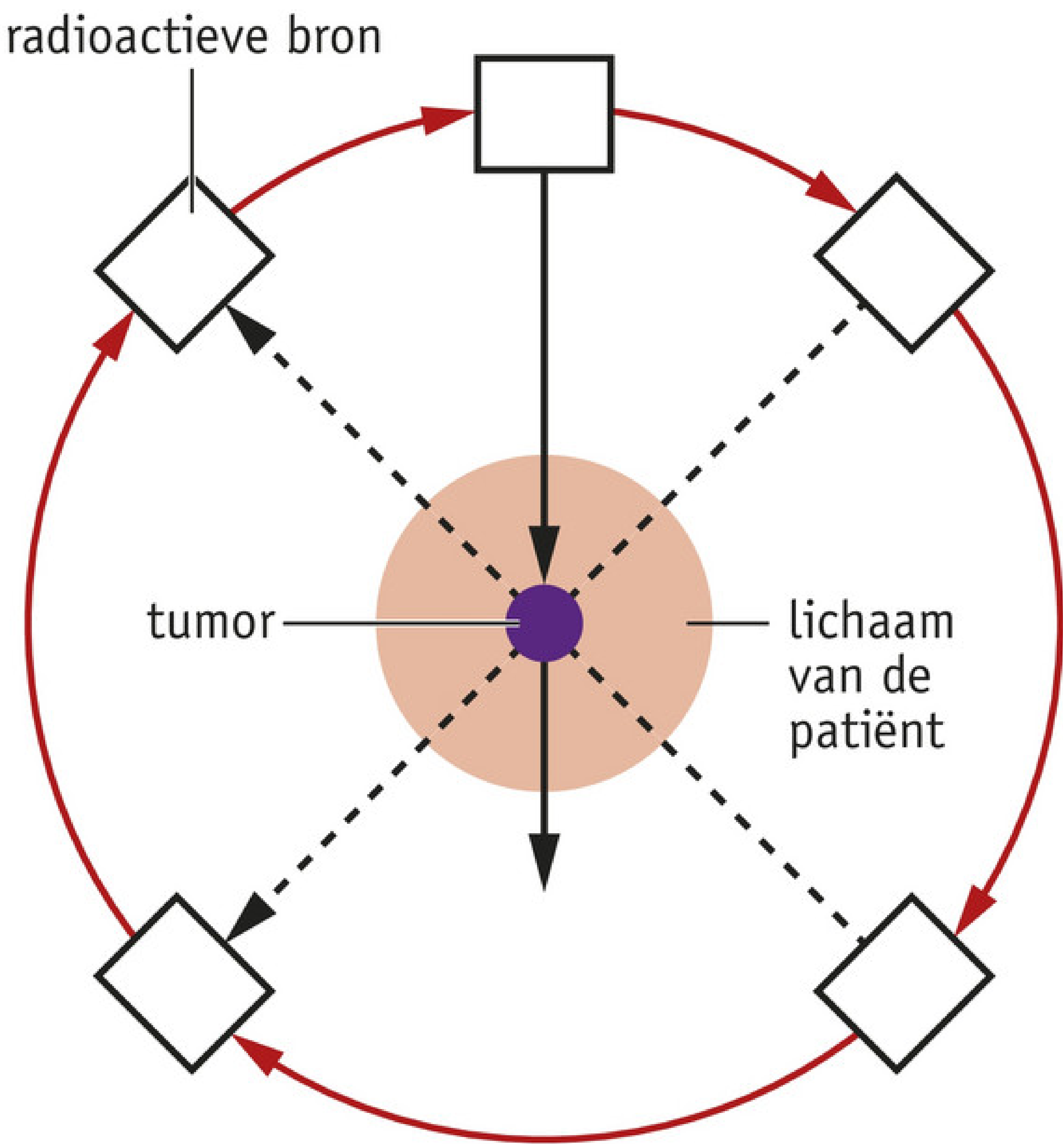
1. Voer alle handelingen snel (maar wel precies) uit.
2. Was je handen, nadat je met radioactieve stoffen gewerkt hebt.
3. Pak de stralingsbron niet met de handen beet, maar gebruik een tang.
4. Draag een loodschort als je met radioactieve stoffen werkt (zie foto).

◀ **figuur 33**
veiligheidsregels voor de omgang met radioactieve bronnen

35 Het ioniserend vermogen en het doordringend vermogen zijn voor elk soort ioniserende straling verschillend.
Maak een tabel met drie kolommen zoals tabel 6. Zet in kolom 2 en 3 de volgende woorden op de juiste plaats: 'hoog', 'laag' en 'niet hoog/niet laag'.

▼ **tabel 6** ioniserend en doordringend vermogen

soort straling	ioniserend vermogen	doordringend vermogen
alfastraling		
bètastraling		
gammastraling		
röntgenstraling		



▲ **figuur 34**
Een radioactieve bron draait rond een patiënt.

36 In figuur 34 zie je hoe een tumor wordt bestraald. Tijdens de behandeling draait een bron met kobalt-60 rond het lichaam van de patiënt.

a Welk soort straling moet kobalt-60 in elk geval uitzenden? Licht je antwoord toe.

b Leg uit waarom de bron in een cirkel rond de patiënt draait.

c De bron zit opgesloten in een loden omhulsel met één opening. Leg uit waar die opening voor dient en waar die zich (dus) bevindt.

***37** In figuur 35 zie je hoe een tumor in het hoofd wordt bestraald. Het hoofd van de patiënt zit in een goed afgeschermde halve bol, met daarin een groot aantal kobalt-60 bronnen. De straling van deze bronnen komt samen in één brandpunt.

a Elke bron draagt voor 0,5% bij aan de totale hoeveelheid straling. Hoeveel kobaltbronnen zitten er in de halve bol?

b Hoe wordt ervoor gezorgd dat de tumor een zo hoog mogelijke dosis straling ontvangt?

c Waarom wordt het hoofd van de patiënt vastgezet in een metalen frame?

d Bedenk een voordeel van dit systeem ten opzichte van het systeem waarbij er één bron rond de patiënt draait.



▶ **figuur 35**
Een patiënt ligt klaar voor een behandeling met een 'gamma knife'.

Plus Dracht en halveringsdikte

38 Bij alfa- en bètastraling kun je spreken over dracht.

a Waarom kun je bij gammastraling niet spreken van dracht?

b Vergelijk tabel 4 met tabel 5.
Vul in: hoe groter het ioniserend vermogen van de straling, hoe ... de dracht.

c Verklaar het verband van b.

d Bekijk tabel 4 en 5.
Vul in: hoe groter de energie van de deeltjes, hoe ... de dracht.

e Verklaar het verband van d.

f Bekijk tabel 4.
Verklaar het verschil in dracht tussen lucht en weefsel.

g Bekijk tabel 4 en 5.
Is er een recht evenredig verband tussen de energie van de deeltjes en de dracht?

***39** Voor een bepaald soort gammastraling is de halveringsdikte van lood 1,0 cm.

a Wat wordt bedoeld met halveringsdikte?

b Met hoeveel procent wordt de intensiteit van deze straling verminderd als de bron ervan in een loden pot zit waarvan de wanden 3,0 cm dik zijn?

c Hoe dik moeten de wanden van de pot zijn om de intensiteit met 97% te laten afnemen?

40 Bij het maken van een röntgenfoto wordt gebruikgemaakt van het feit dat de halveringsdikte voor elke stof anders is.
Leg dat uit.

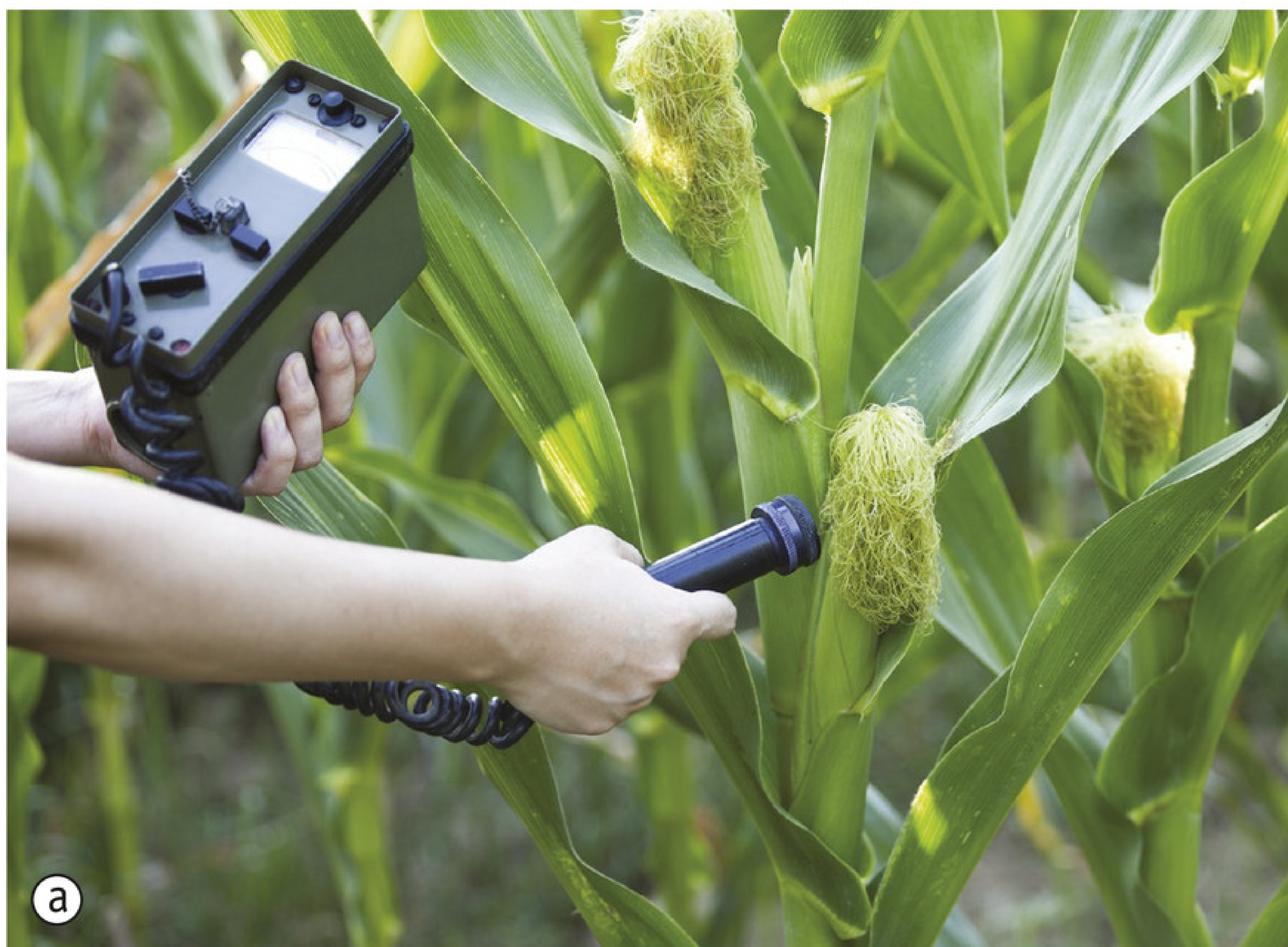
4 Activiteit en halveringstijd

Er zijn tientallen radioactieve isotopen beschikbaar voor gebruik in de techniek en in de geneeskunde. Bij het zoeken naar de meest geschikte isotoop zijn twee factoren belangrijk: het soort straling dat wordt uitgezonden en het tempo waarin de isotoop vervalt.

Activiteit meten

Met een geigerteller (of GM-teller) kun je radioactieve bronnen opsporen (figuur 36). Elke keer dat het apparaat een alfadeeltje, een bètadeeltje of een puls gammastraling registreert, hoor je een klik. De teller telt het aantal deeltjes en pulsen, maar maakt geen onderscheid tussen de soorten straling.
Als je een geigerteller aanzet zonder dat je er een radioactieve bron bij plaatst, geeft hij toch af en toe een klik. Dan registreert hij de **achtergrondstraling**. Dat is de natuurlijke straling die altijd en overal aanwezig is. Het is de straling uit het heelal (de **kosmische straling**) en van radioactieve materialen in je omgeving. Als de teller opeens sneller begint te tikken, moet er een sterkere bron in de buurt zijn.

▼ **figuur 36**
straling meten met een geigerteller vroeger (a) en nu (b)





Met een geigerteller kun je een schatting maken van de **activiteit** van een bron. Dat is het aantal atoomkernen dat per seconde vervalt. De eenheid van activiteit is de **becquerel** (Bq). De wijzers van het duikershorloge in figuur 37 hebben bijvoorbeeld een activiteit van 2 Mbq (1 megabecquerel = 1 miljoen Bq). Er vervallen dan in de wijzers elke seconde twee miljoen atoomkernen. Dat klinkt veel, maar het is weinig. De bronnen die in ziekenhuizen en in de industrie worden gebruikt, hebben een veel grotere activiteit.



◀ **figuur 37**
De wijzers van dit duikershorloge lichten op, doordat ze de radioactieve stof tritium bevatten.

Random proces

Instabiele kernen vervallen en daarbij komt straling vrij. Je kunt bij een bepaalde kern nooit voorspellen op welke moment die zal vervallen. Zo'n proces noem je **random**. Het vervallen van een kern is niet te beïnvloeden door verandering van temperatuur, druk, of welke andere actie ook. Het proces is geheel autonoom. Wel kun je aangeven hoeveel procent van een groot aantal kernen na een bepaalde tijd zal zijn vervallen.

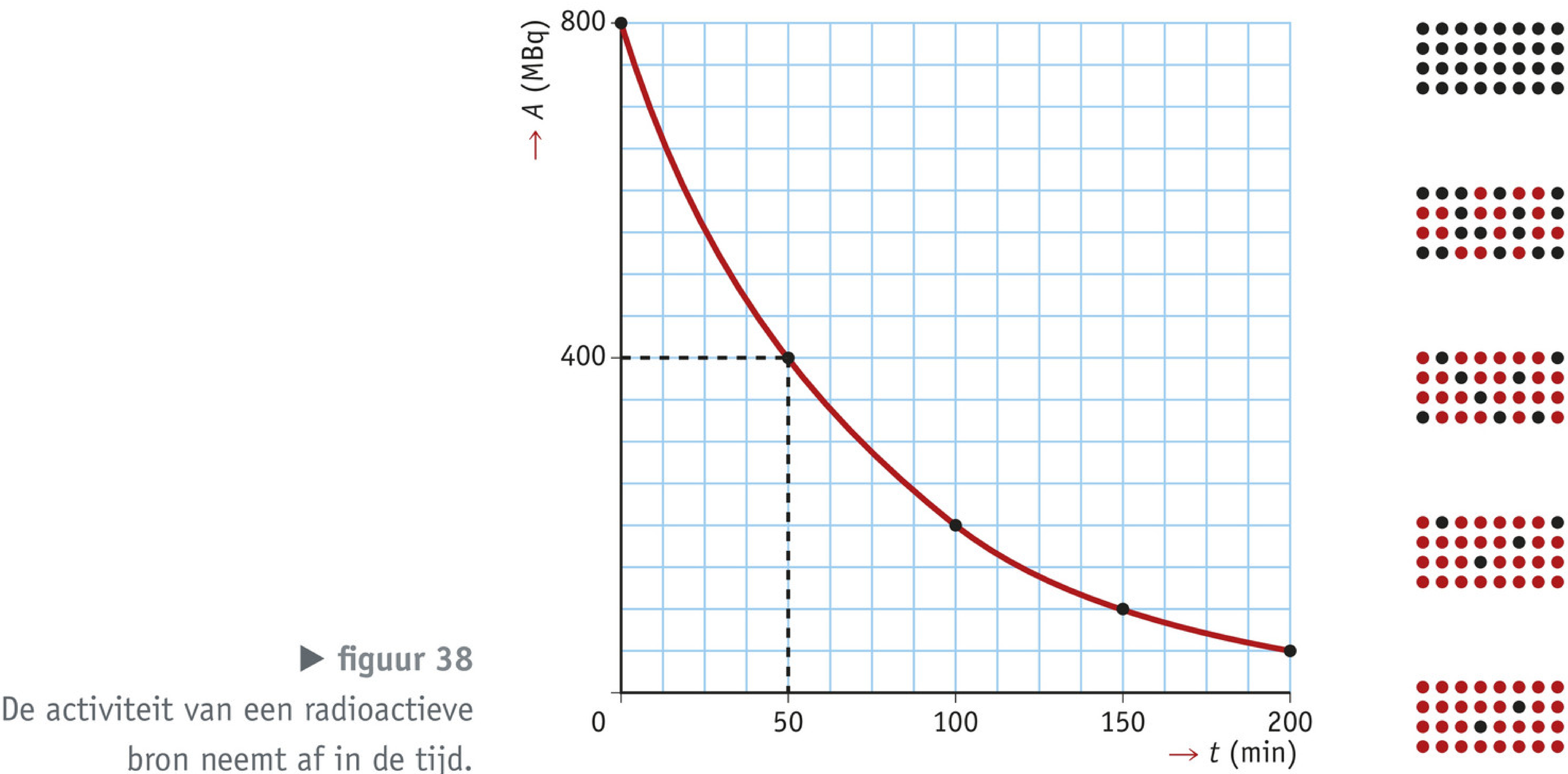
De halveringstijd

Elke instabiele radioactieve isotoop heeft een kenmerkende **halveringstijd** of **halfwaardetijd** $t_{½}$. Na die tijd:
- is de helft van de instabiele atoomkernen vervallen;
- is de activiteit van de bron met de helft verminderd.

De halveringstijden van isotopen lopen sterk uiteen (tabel 7). Zo is de halveringstijd van uranium-238 ongeveer 4,5 miljard jaar, maar de halveringstijd van barium-144 slechts 12 seconden. Als de halveringstijd klein is, vervalt de stof heel snel en zal de activiteit dus relatief groot zijn.

▼ **tabel 7** de halveringstijd van enkele radioactieve stoffen

stof	komt voor in	toepassing	halveringstijd
uranium-235	gesteente	brandstofstaven in kerncentrales	704 miljoen jaren
plutonium-239	afval van kerncentrales	atoombommen	24 400 jaren
radium-226	gesteente	bestraling van kankergezwellen	1620 jaren
koolstof-14	atmosfeer	ouderdomsbepalingen	5730 jaren
cesium-137	afval van kerncentrales	bestraling van tumoren	30 jaren
jood-131	afval van kerncentrales	behandelen van schildklierafwijkingen	8 dagen
technetium-99m	kunstmatig gemaakte tracers (merkstoffen)	medisch onderzoek	6 uur



▶ **figuur 38**
De activiteit van een radioactieve bron neemt af in de tijd.

De **vervalkromme** is een grafiek waarin de activiteit van een hoeveelheid stof is uitgezet tegen de tijd. In figuur 38 zie je dat de activiteit van een bepaalde hoeveelheid kernen in 50 minuten afneemt van 800 MBq tot 400 MBq. Deze stof heeft dus een halveringstijd van 50 minuten.



▲ **figuur 39**
De kernreactor in Petten is gebouwd voor de productie van medische isotopen.

Medische isotopen

De radioactieve stoffen die artsen gebruiken, hebben een halveringstijd van uren tot weken. Ze worden gemaakt in speciaal daarvoor gebouwde kernreactoren. De reactor in Petten (Noord-Holland) produceerde in 2013 ongeveer een derde van de wereldproductie van medische isotopen (figuur 39).

Voorbeeldopgave 2

I-131 is een radioactieve isotoop van jood. De isotoop wordt gebruikt bij de behandeling van afwijkingen van de schildklier (figuur 40). De halveringstijd is 8 dagen. Een ziekenhuis ontvangt een bron van I-131 met een activiteit van 64 MBq.
Bereken de activiteit van de bron na 40 dagen.

gegevens	de halveringstijd $t_{½}$ = 8 dagen de activiteit in het begin = 64 MBq
gevraagd	de activiteit na 40 dagen
uitwerking	Na 8 dagen is de activiteit nog 32 MBq. Na 16 dagen is de activiteit nog 16 MBq. Na 24 dagen is de activiteit nog 8 MBq. Na 32 dagen is de activiteit nog 4 MBq. Na 40 dagen is de activiteit nog 2 MBq.



▲ **figuur 40**
Een laborant bereidt een injectie voor met radioactief I-131.

Tracers

Artsen gebruiken radioactieve stoffen met een relatief korte halveringstijd om te onderzoeken of organen, zoals de nieren of de longen, nog wel goed werken. Zo'n onderzoek verloopt in een aantal stappen (figuur 41):

1 In een laboratorium wordt een **tracer** gemaakt. Dit is een stof die vooral wordt opgenomen door één orgaan, zoals de lever of de schildklier. De stof wordt kunstmatig radioactief gemaakt door bij een of meer atomen een stabiele isotoop te vervangen door een instabiele isotoop. Hiervoor worden isotopen gebruikt die gammastraling uitzenden en die een korte halveringstijd hebben.
2 De tracer wordt in het lichaam van de patiënt gebracht. Na een wachttijd heeft een groot deel van de tracer zich geconcentreerd in het te onderzoeken orgaan.
3 De gammastraling die de tracer uitzendt, wordt geregistreerd door een gammacamera. Een computer maakt dan van de meetgegevens een afbeelding van het orgaan.
4 Op de afbeelding kunnen artsen eventuele afwijkingen zien.



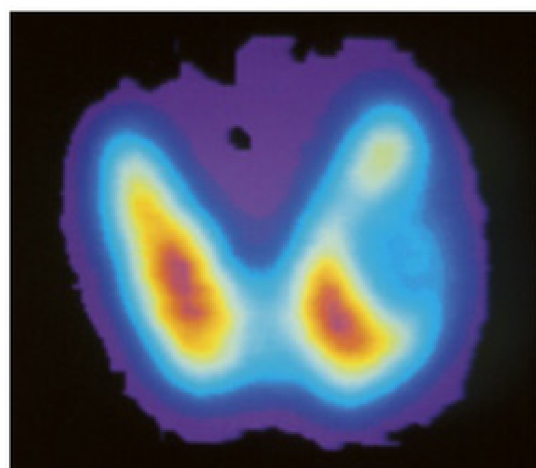
▲ **figuur 41a**
In het laboratorium wordt een tracer gemaakt.



▲ **figuur 41b**
De tracer wordt in het lichaam van de patiënt geïnjecteerd.



▲ **figuur 41c**
De gammacamera registreert de vrijkomende straling.



▶ **figuur 42**
een false color image van een schildklier

In figuur 42 zie je het resultaat van een schildklieronderzoek. Net als bij een infrarood foto, is dit ook een false color image. De kleuren zijn niet echt, maar zijn afgesproken door elke kleur te koppelen aan een bepaalde intensiteit van de gammastraling. In figuur 42 zie je dat een deel van de schildklier niet goed werkt.

Plus De koolstofdateringsmethode

In de atmosfeer wordt door de inwerking van kosmische straling voortdurend ^{14}C gevormd. Die isotoop is radioactief en vervalt met een halveringstijd van 5730 jaar. Daardoor is er in de atmosfeer al duizenden jaren een klein percentage radioactief ^{14}C aanwezig. Door vorming en verval is dat percentage ^{14}C nagenoeg constant. Planten nemen koolstofdioxide op en bevatten daardoor datzelfde percentage ^{14}C. Doordat dieren en mensen planten eten, hebben ook zij een vast percentage ^{14}C in het lichaam. Als een plant, dier of mens sterft, stopt de opname van koolstof, maar gaat het verval door. Het percentage ^{14}C zal dan langzaam afnemen. Door het ^{14}C percentage te meten, kun je van een zeer oud voorwerp de ouderdom vrij exact bepalen. Het voorwerp moet dan wel zijn gemaakt van dierlijke of plantaardige materialen. Dat geldt bijvoorbeeld voor de linnen doeken die werden gebruikt om mummies in te wikkelen (figuur 43).



◀ **figuur 43**
Met de koolstofdateringsmethode is de ouderdom van het linnen van een mummie te bepalen.

Voordat je de ouderdom kunt uitrekenen, moet je eerst de volgende verhouding bepalen:

$$X = \frac{\text{het aantal } ^{14}\text{C kernen op dit moment}}{\text{het aantal } ^{14}\text{C kernen op het moment dat plant/dier/mens stierf}}$$

Dan volgt de ouderdom t in jaren uit de volgende formule:

$$t = -1{,}9 \cdot 10^4 \cdot \log X$$

waarbij log een bewerking is uit de wiskunde (gebruik hiervoor de log-toets op je rekenmachine).

opgaven

41 Beantwoord de volgende vragen.

a Met welk meetinstrument kun je bronnen van radioactiviteit opsporen?
b Wat wordt bedoeld met 'de activiteit van een radioactieve bron'?
c In welke eenheid wordt de activiteit van een radioactieve bron gemeten?
d Hoe noem je de ioniserende straling die er altijd is in onze leefomgeving?

42 Een bron van barium-144 ($t_{½}$ = 12 s) heeft op t = 0 s een activiteit van 100 kBq.
Teken de vervalkromme voor deze stof van t = 0 s tot t = 60 s.

43 In een handleiding voor een geigerteller staat:

> Houd een plaatje aluminium van circa 3 mm dik tussen het instrument en de bron. Als het aantal klikken afneemt of stopt, gaat het hoogstwaarschijnlijk om … [1]. Veel isotopen zenden daarnaast ook … [2] uit. Daarom neemt het aantal klikken wel af, maar stopt het niet helemaal.

Welk soort straling is weggelaten:

a bij [1]?
b bij [2]?

44 Na 1945 hebben verschillende landen atoombommen getest door ze in de atmosfeer te laten ontploffen. In 1980 is de laatste kernproef in de atmosfeer uitgevoerd. Door die proef kwam er onder andere radioactief strontium-90 ($t_{½}$ = 29 jaar) in de atmosfeer terecht.

a Maak een schatting van het percentage strontium-90 dat in 2030 nog in het milieu aanwezig zal zijn.
b Teken een vervalkromme en bepaal dat percentage.
c Vind je dat je bij a een goede schatting hebt gemaakt?

45 In ziekenhuizen worden medische isotopen gebruikt.
- **a** Waarom moeten deze isotopen speciaal worden gemaakt en zijn ze niet in de natuur te vinden?
- **b** Zoek op waarvoor de medische isotoop jood-131 wordt gebruikt.
- **c** Zoek op hoe jood-131 wordt gemaakt.
- **d** Leg uit waarom de meeste isotopen van jood niet geschikt zijn voor medisch gebruik.



Na het onderzoek zult u tijdelijk moeten stoppen met het geven van borstvoeding. De moedermelk wordt in die periode afgekolfd en zal daarna worden vernietigd. Als de radioactiviteit van de melk voldoende is gedaald, mag weer borstvoeding gegeven worden. Gelukkig heeft de gebruikte stof een korte halveringstijd: na 6 uur al is de radioactiviteit met de helft afgenomen. 24 uur na het begin van het onderzoek kunt u uw kind weer borstvoeding gaan geven.

▲ **figuur 44**
een fragment uit een brochure van een ziekenhuis

46 Ziekenhuizen geven patiënten voor een onderzoek vaak een brochure met informatie. In figuur 44 is een stukje uit zo'n brochure afgedrukt.
- **a** Hoe groot is de halveringstijd van de radioactieve stof?
- **b** Waarom wordt de moedermelk de eerste 24 uur na het onderzoek vernietigd?
- **c** Bij dit onderzoek wordt radioactief materiaal toegediend met een activiteit van 1200 MBq.
  Leg uit wat er wordt bedoeld met 'een activiteit van 1200 MBq'.
- **d** Bereken de activiteit 24 uur na het toedienen van de stof.

47 In tabel 8 staat een aantal medische isotopen die worden geleverd door de reactor in Petten.
- **a** Van welke isotopen is na een maand nog meer dan 50% over?
- **b** Van welke isotoop is na een week iets meer dan de helft over?
- **c** Van welke isotoop is na twee dagen al meer dan de helft verdwenen?

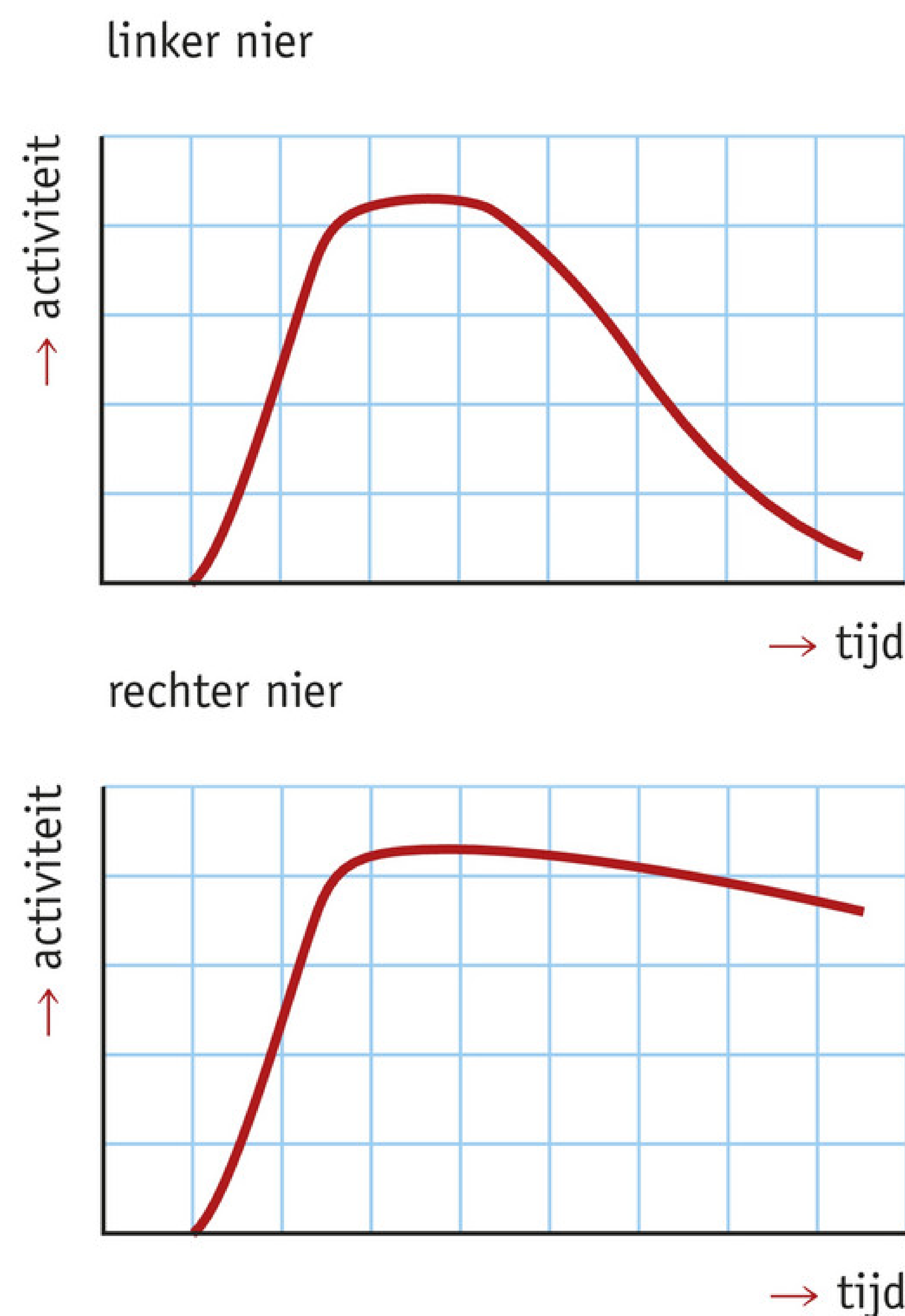
▼ **tabel 8** enkele medische isotopen

isotoop	halveringstijd (dag)
iridium-192	73,8
jood-125	60,1
jood-131	8,04
renium-186	3,78
samarium-153	1,95
strontium-89	50,5
xenon-133	5,25

Bron: www.nrg.eu/nl/irradiation-development/medische-isotopen/

***48** Bij een experiment worden twee radioactieve bronnen gebruikt: de ene bevat jood-131, de andere jood-125. Op een gegeven moment is de activiteit van beide bronnen even groot.
Beredeneer met behulp van tabel 8:
- **a** welke bron op dat moment de grootste hoeveelheid jood bevat.
- **b** van welke bron de activiteit daarna het snelst zal afnemen.

49 Leg uit waarom voor tracers isotopen worden gebruikt:
- **a** met een korte halveringstijd.
- **b** die bij verval gammastraling uitzenden.



▲ **figuur 45**
de activiteit van technetium-99m in de nieren van een patiënt als functie van de tijd

***50** Tussen de activiteit *A* van een hoeveelheid radioactief materiaal en het aantal nog niet vervallen kernen *N* daarin, blijkt het volgende verband te bestaan:

$$A = \frac{0{,}693 \cdot N}{t_{1/2}}$$

a Hoe heet een dergelijk verband?
b Waarom is het logisch dat er een dergelijk verband bestaat tussen *A* en *N*?
c Leg uit dat uit de definitie van *A* volgt dat de halveringstijd hier in seconden moet worden ingevuld.
d De halveringstijd van jood-131 is 8,0 dagen.
Bereken de activiteit van een potje met deze isotoop op het moment dat er nog 1 miljard kernen niet vervallen zijn.
e Bereken hoeveel kernen er nog niet vervallen zijn als de activiteit 100 Bq is.

51 De werking van de nieren kan worden onderzocht met een tracer die radioactief is gemaakt met technetium-99m (de betekenis van de m is hier niet belangrijk). De tracer wordt door een injectie in de bloedbaan gebracht. Als de nieren goed werken, zullen ze de tracer snel afvoeren naar de blaas.
a Twee detectoren meten de activiteit in de nieren. In figuur 45 zie je hoe die activiteit verandert met de tijd.
Welke nier functioneert wel goed en welke niet? Leg uit waaraan je dat kunt zien.
b Technetium-99m heeft een halveringstijd van 6 uur.
Leg uit waarom 6 uur voor dit onderzoek een geschikte waarde is.

***52** De stof CO_2 in de atmosfeer bevat een constant percentage van de radioactieve ^{14}C isotoop. Bomen nemen tijdens hun leven CO_2 op uit de lucht en bevatten daardoor ook ^{14}C. De halveringstijd van ^{14}C is 5730 jaar.
Hoe oud is een stuk hout waarvan de activiteit nog maar een achtste deel is van de oorspronkelijke activiteit?
Naar: IJSO

Plus De koolstofdateringsmethode

***53** Met de koolstofdateringsmethode kan de ouderdom van voorwerpen worden bepaald.
a Leg uit waarom ^{14}C een zeer geliefde isotoop is bij archeologen.
b Leg uit waarom deze methode ook kan worden gebruikt voor de datering van heel oude scheepswrakken.
c Bepaal je dan het moment van kappen, bouwen of zinken?
d Waarom is de methode niet bruikbaar voor het dateren van voorwerpen die miljoenen jaren oud zijn?

54 Het linnen van de mummie in figuur 43 (bladzijde 306) bleek na meting nog $0{,}55 \cdot 10^{-10}$ % ^{14}C te bevatten. Linnen wordt gemaakt van vlas en toen het vlas werd geoogst, was het percentage ^{14}C gelijk aan $1{,}0 \cdot 10^{-10}$ %.
a Bereken hoeveel eeuwen de mummie oud is.
b Het percentage ^{14}C in het jaar van de oogst was hoger dan $1{,}0 \cdot 10^{-10}$ %.
Is de mummie dan ouder of jonger dan je bij a hebt berekend?

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 tot en met 15 ook op de computer maken.

1 Neem over en vul in.
- **a** Van alle soorten … straling hebben radiogolven de grootste golflengte.
- **b** De golflengte van zichtbaar licht ligt tussen die van infrarood en … .
- **c** In het spectrum van licht heeft rood de … en violet de … golflengte.
- **d** De golflengte van … is kleiner dan die van röntgenstraling.

2 Met welke snelheid planten elektromagnetische golven zich voort?
- A circa 300 000 m/h
- B circa 300 000 m/s
- C circa 300 000 km/h
- D circa 300 000 km/s

3 Kies de juiste mogelijkheid.
Röntgenstraling wordt:
- **a** door spieren en vetweefsel voornamelijk *doorgelaten / geabsorbeerd / gereflecteerd*.
- **b** door de botten in je lichaam voornamelijk *doorgelaten / geabsorbeerd / gereflecteerd*.

4 Bloedvaten kun je op een röntgenopname zichtbaar maken door bij de patiënt vooraf een contrastvloeistof in de bloedvaten te injecteren. Welke eigenschap moet die contrastvloeistof hebben?
- A Hij moet röntgenstraling absorberen.
- B Hij moet röntgenstraling doorlaten.
- C Hij moet röntgenstraling uitzenden.
- D Hij moet röntgenstraling weerkaatsen.

5 Neem over en vul in.
Kies uit: *niet – sterk – zwak*.
- **a** Gammastraling is … ioniserend.
- **b** Infrarode straling is … ioniserend.
- **c** Zichtbaar licht is … ioniserend.
- **d** Röntgenstraling is … ioniserend.
- **e** Ultraviolette straling is … ioniserend.
- **f** Alfastraling is … ioniserend.

6 In tabel 9 is de bouw van twee deeltjes P en Q weergegeven.
Geef van elk van de volgende beweringen aan of hij waar of onwaar is.
- **a** Justin beweert: "P en Q hebben allebei hetzelfde atoomnummer."
- **b** Thomas beweert: "P en Q hebben allebei hetzelfde massagetal."
- **c** Vincent beweert: "P en Q zijn isotopen van hetzelfde element."
- **d** Ahmed beweert: "P en Q zijn beide ionen."

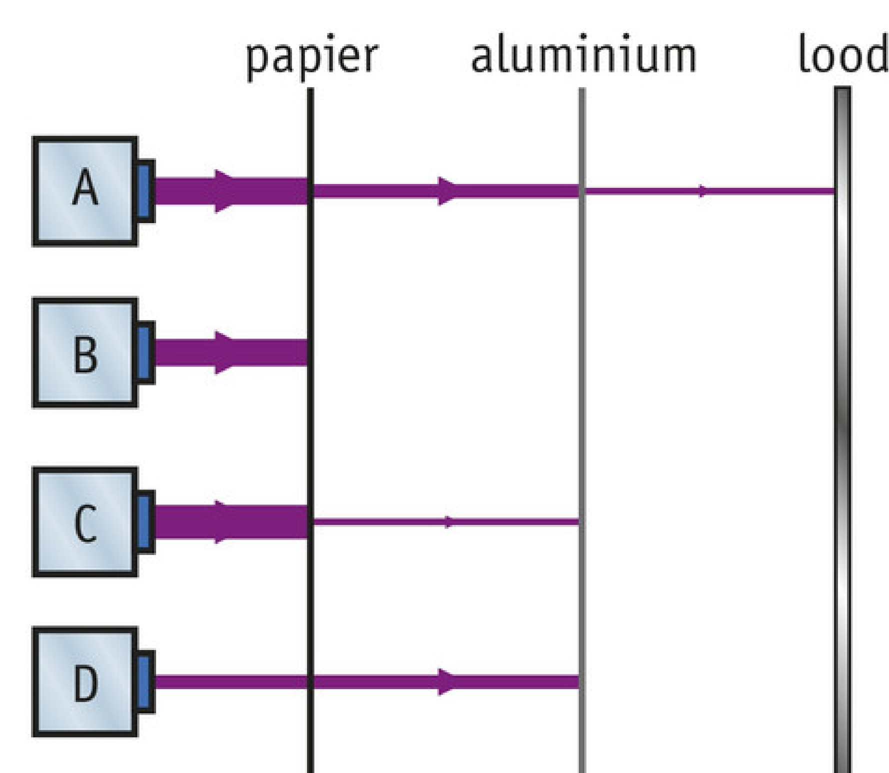
▼ **tabel 9** de samenstelling van twee atomen

atoom	protonen	neutronen	elektronen
P	18	22	18
Q	20	20	18

7 Een laser geeft licht met een golflengte van 700 nm.
- **a** Welke kleur heeft het laserlicht?
- **b** Bereken de frequentie van het laserlicht. Geef je antwoord met één cijfer achter de komma als volgt: $x,y \cdot 10^z$.

8 Hieronder staan twee voorbeelden van radioactief verval.
Neem de voorbeelden over en vul de ontbrekende getallen in.
- **a** $^{238}_{94}Pu \rightarrow \quad U + ^{4}_{2}He$
- **b** $^{90}_{38}Sr \rightarrow \quad Y + ^{0}_{-1}e$

9 Vier verschillende radioactieve bronnen worden voor platen van verschillend materiaal geplaatst (figuur 46). De dikte van de pijlen is een maat voor de hoeveelheid straling.
Welke bron zendt:
- **a** alleen α-straling uit?
- **b** alleen β-straling uit?
- **c** zowel α- als β-straling uit?
- **d** zowel α-, β- als γ-straling uit?

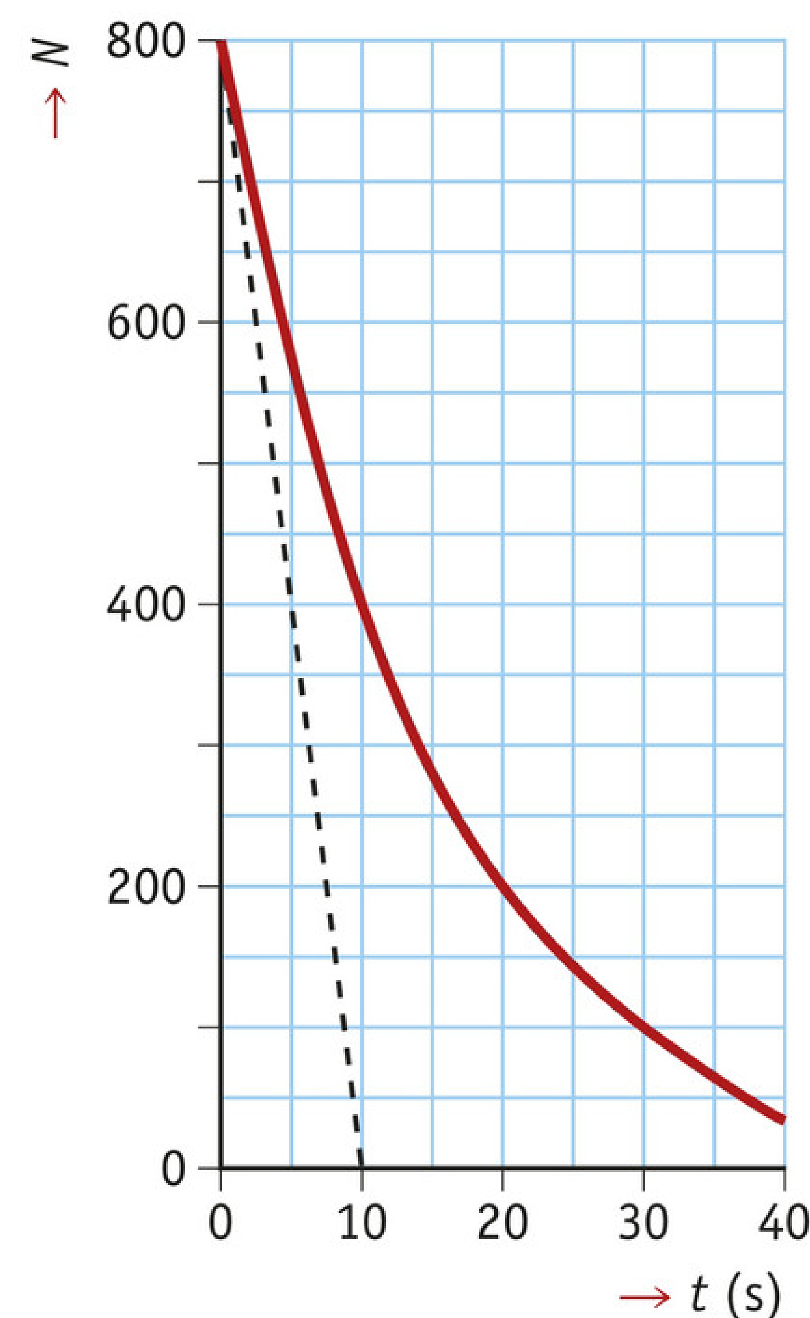


◀ figuur 46

10 In figuur 47 is het aantal nog niet vervallen kernen *N* van een radioactieve stof uitgezet tegen de tijd *t*.

a Hoe groot was de activiteit op $t = 0$?
A 10 Bq
B 80 Bq
C 800 Bq
D 8000 Bq

b Hoe groot is de halveringstijd van deze stof?



◀ **figuur 47**

11 Neem over en vul in.

a Ioniserende straling kan in het lichaam grote schade aanrichten, door … in de cellen kapot te maken.

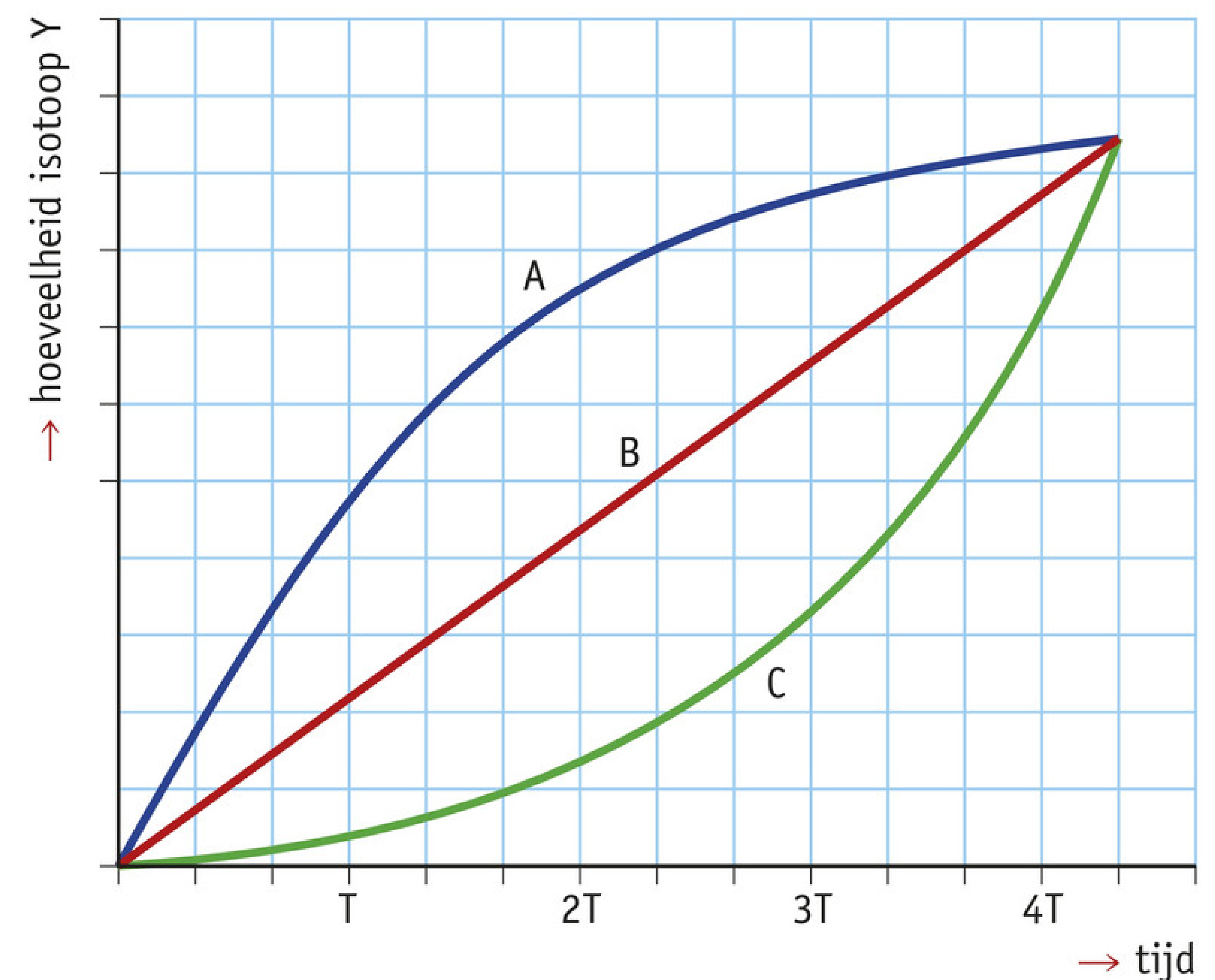
b De grootte van de schade hangt af van de … straling die iemand absorbeert en van de … straling.

c De equivalente dosis wordt gemeten in de eenheid … .

d Bij het bepalen van de equivalente dosis heeft … een groter gewicht dan … of gammastraling.

12 Een radioactieve bron bevat de isotoop vanadium-148 met een halveringstijd van 16 dagen.
Na hoeveel dagen is 90% van de vanadium-48 atomen vervallen?
A ongeveer 53 dagen
B ongeveer 65 dagen
C ongeveer 77 dagen
D ongeveer 89 dagen
E ongeveer 101 dagen
F ongeveer 113 dagen

13 Een radioactieve isotoop X met een halveringstijd *T* vervalt tot een stabiele isotoop Y. Op $t = 0$ is er in de bron nog geen Y aanwezig.
In welke grafiek (A, B of C) van figuur 48 is de toename van isotoop Y juist getekend?



▲ **figuur 48**

14 In een ziekenhuis wordt 80 mg xenon-133 in een kluis opgeborgen. De halveringstijd is 5,25 dagen. Hoeveel mg van deze stof is er na drie weken nog over?

15 Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.

a In vacuüm planten alle soorten elektromagnetische straling zich voort met de lichtsnelheid.

b Röntgenstraling wordt door je spieren sterk geabsorbeerd, terwijl je botten bijna alle straling doorlaten.

c Bij extreem lage temperaturen vervalt een radioactieve stof langzamer dan bij kamertemperatuur.

d Als mensen radioactief worden besmet, zijn ze zelf ook radioactief.

e De achtergrondstraling is nooit nul.

16 Een bedrijf bestraalt aardappelen om parasieten en micro-organismen te vernietigen en de kieming te remmen. De aardappelen worden daarvoor op een lopende band onder een stralingsbron doorgevoerd. De radioactieve bron bevat kobalt-60 en produceert bèta- en gammastraling. De halveringstijd van kobalt-60 is 5,3 jaar.

In 2007 werd een nieuwe kobalt-60 bron in bedrijf genomen die toen 10 000 kg aardappelen per dag kon bestralen.

- **a** In de loop van de tijd moet de snelheid van de lopende band steeds verder worden teruggebracht.
  Leg uit waarom dat nodig is.
- **b** In de loop van 2017 moet de hoeveelheid aardappelen worden teruggebracht tot:
  - A 7500 kg per dag
  - B 5000 kg per dag
  - C 2500 kg per dag
  - D 1250 kg per dag
- **c** De bètastraling draagt nauwelijks bij aan het onschadelijk maken van de micro-organismen in de aardappelen.
  Wat is daarvan de oorzaak?

17 In een laboratorium wordt de activiteit van een bron gemeten. De resultaten van deze meting staan in tabel 10.

- **a** Teken de vervalkromme.
- **b** Laat zien hoe je de halveringstijd van deze radioactieve stof bepaalt.
- **c** Is de activiteit van deze bron na 10 min gedaald tot 0 Bq? Hoe weet je dat?

▼ **tabel 10**

tijd (min)	activiteit (Bq)
0	720
1,0	450
2,0	285
3,0	180
4,0	110
5,0	70
6,0	45

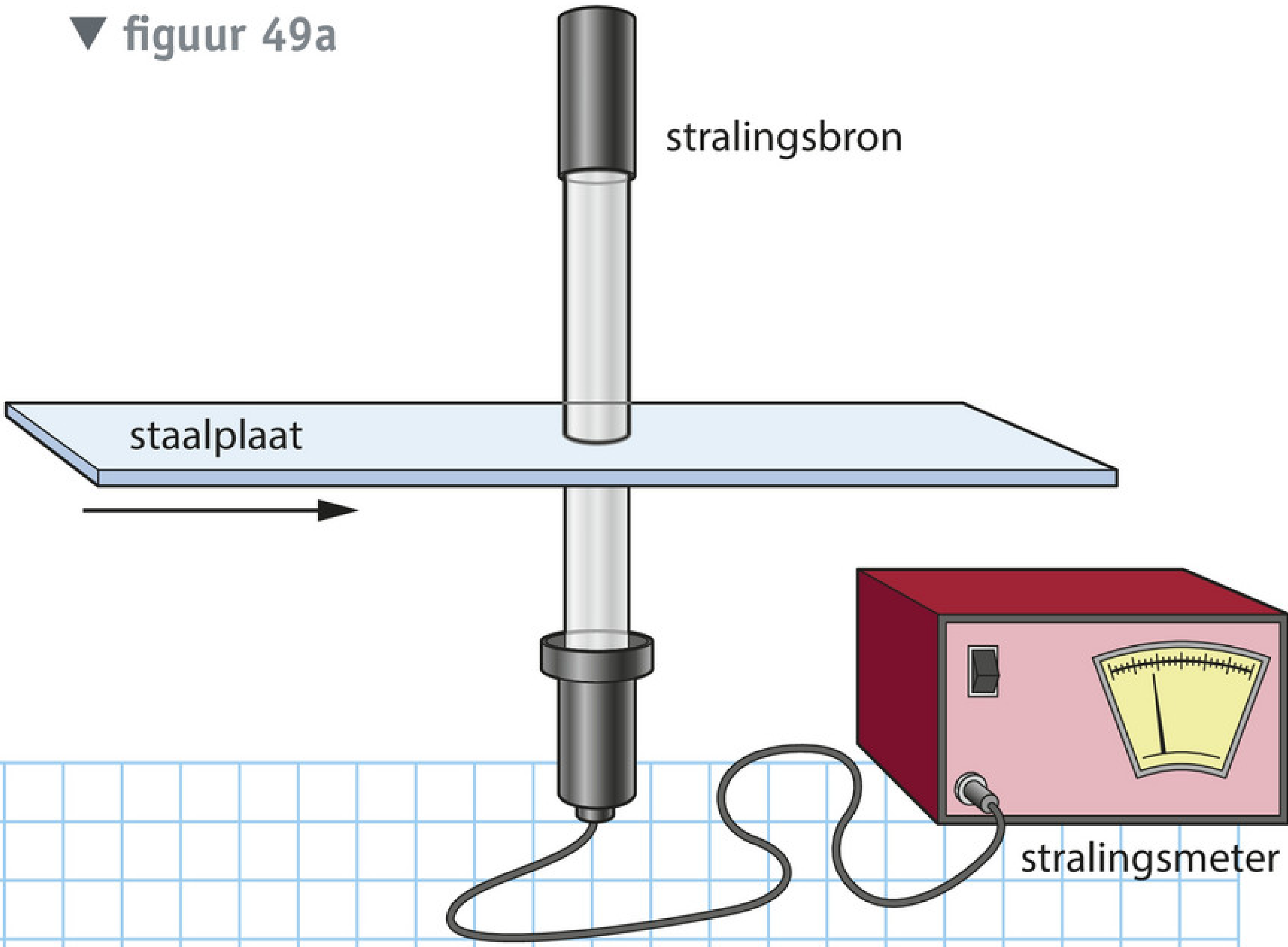
18 Een fabriek van staalplaten controleert de dikte van de platen met een stralingsbron. (figuur 49a). Een stralingsmeter meet hoeveel straling de plaat doorlaat. In figuur 49b zie je hoe de hoeveelheid doorgelaten straling afhangt van de dikte van de plaat.

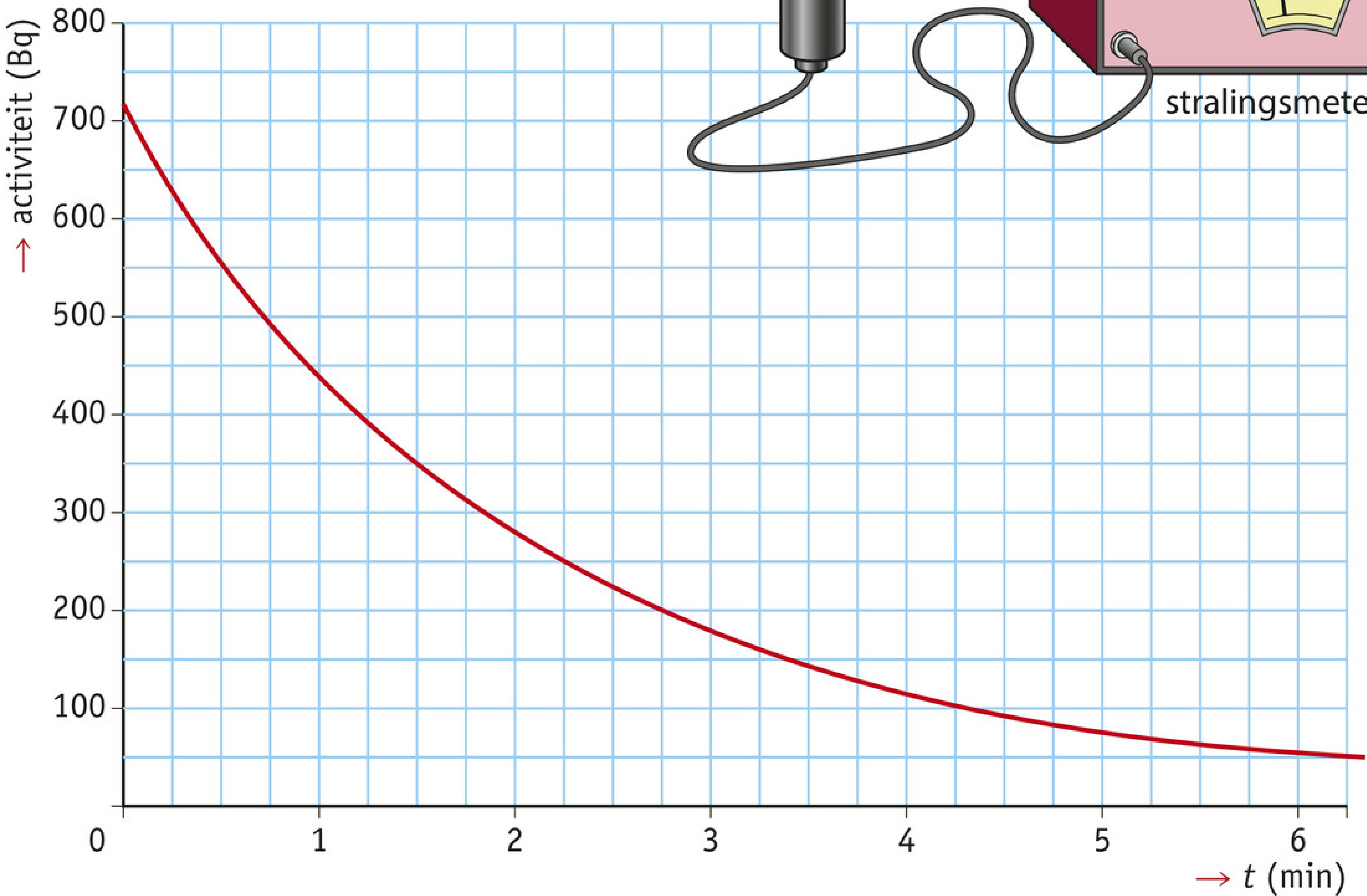
- **a** Leg uit welke isotoop uit tabel 11 moet worden gekozen als stralingsbron. Geef twee argumenten.
- **b** Een plaat heeft de juiste dikte als hij 40% van de straling doorlaat.
  Bepaal de juiste dikte.
- **c** Op één plaats laat de plaat 45% van de straling door.
  Is de plaat daar te dik of te dun? Licht je antwoord toe.

▼ **tabel 11**

isotoop	soort straling	halfwaardetijd
strontium-90	β	28 jaar
kobalt-60	β, γ	5 jaar
cerium-141	β, γ	32 dagen

▼ **figuur 49a**





▶ **figuur 49b**

19 In het Science Centre in Delft kun je proefjes doen met alfa-, bèta- en gammastraling. In de uitleg bij de proefjes wordt de term 'radioactieve straling' gebruikt.

a Leg uit waarom deze term fout is.

b Geef twee termen die men in plaats van 'radioactieve straling' had moeten gebruiken.

c In het Science Centre kun je de activiteit van verschillende soorten gesteente meten.
Hoe heet het meetinstrument dat je dan moet gebruiken?

d De stukken steen liggen naast elkaar in vakjes. Als je het meetinstrument boven een leeg vakje plaatst, blijkt de activiteit niet nul te zijn.
Geef twee oorzaken daarvoor.

20 Bij een patiënt wordt een orgaan onderzocht. Daartoe wordt een radioactieve stof ingespoten in de bloedbaan.

a Hoe noem je een radioactieve stof die je voor dit doel gebruikt?

b Aan welke eis moet de halveringstijd van deze stof voldoen?

c Leg uit welk soort straling deze stof moet afgeven.

d Leg uit hoe een arts op deze manier een orgaan kan onderzoeken.

De kunst van het ontmaskeren

maskeren

Het is de nachtmerrie van elke kunstverzamelaar: een bedrag met vijf nullen neertellen voor een schilderij uit de Gouden Eeuw en dan later moeten horen: “Sorry meneer, mevrouw, we hebben het onderzocht en er is helaas geen twijfel mogelijk: dat schilderij van u kan onmogelijk uit de zeventiende eeuw komen. Het doek is antiek, maar de verf is recent, nog geen veertig jaar oud. Het lijkt erop dat u zich hebt laten beetnemen …”

Het zijn niet alleen kunstliefhebbers die zich laten bedriegen. Het overkomt de echte professionals net zo goed. In België ontstond enkele jaren geleden rumoer rond een *Madonna met Kind* van – dacht iedereen – meesterschilder Rogier van der Weyden (1499–1464). Het schilderij hing al vijftig jaar in het Museum van Schone Kunsten in Doornik en was volgens kenners een meesterwerk …
Iedereen was dan ook stomverbaasd toen de waarheid aan het licht kwam. Uit onderzoek bleek dat de *Madonna met Kind* het werk is van een twintigste-eeuwse vervalser. “Niets op het doek is vijftiende-eeuws,” zegt Roger van Schoute, een van de deskundigen, hoofdschuddend. En toch ziet het schilderij er volkomen authentiek uit, tot het *craquelé* (de haarscheurtjes in de verf) aan toe.

> Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog.

Verborgen lagen

Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog alleen. Verzamelaars en museumdirecteuren vertrouwen daarom steeds vaker op wetenschappelijk onderzoek. Daarbij wordt op allerlei manieren naar het schilderij gekeken: niet alleen met zichtbaar licht, maar ook met infrarood (ir), ultraviolet (uv) en röntgenstraling. Elke vorm van straling onthult bijzonderheden die je anders niet te zien krijgt.

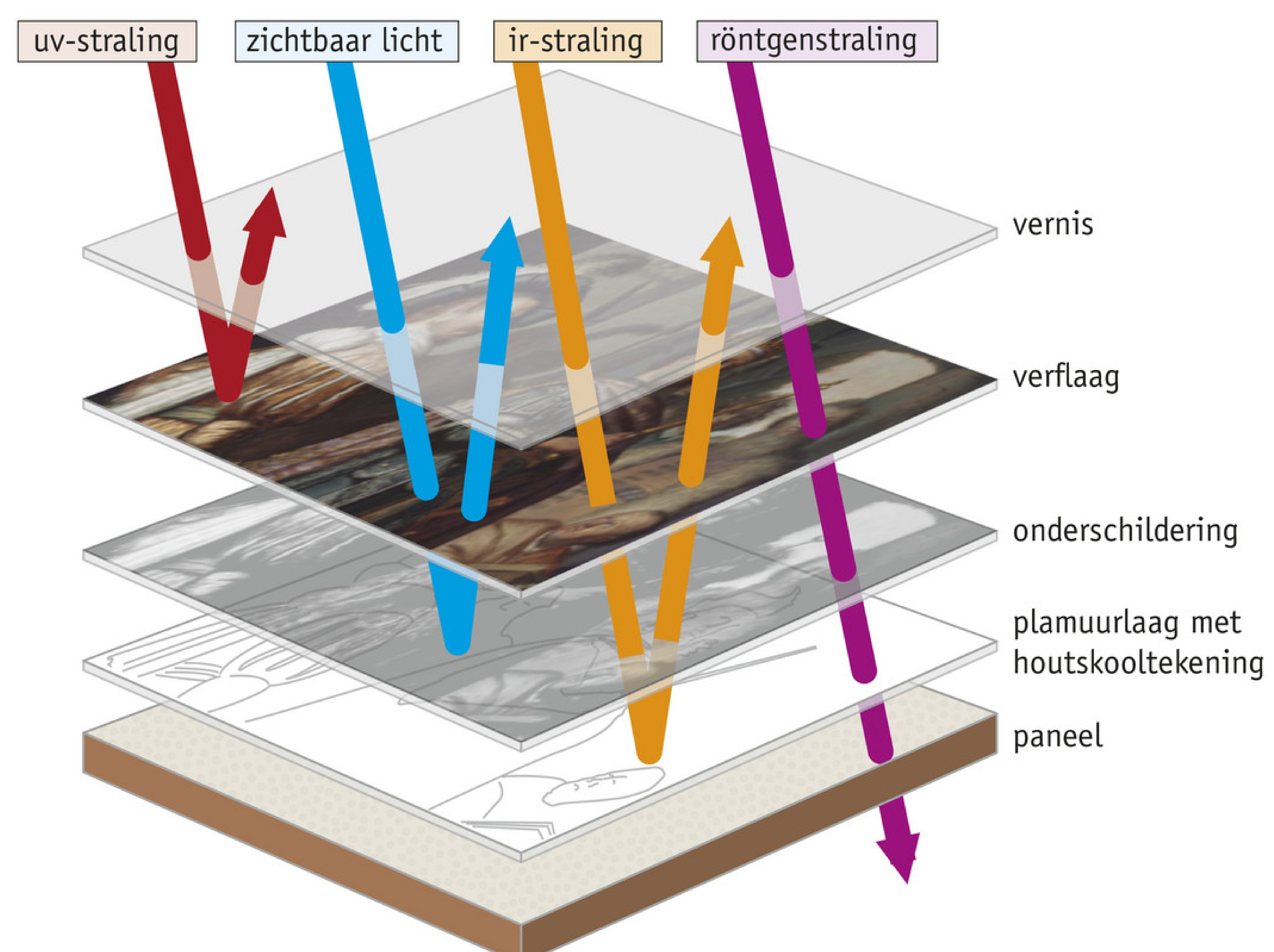
Een olieverfschilderij heeft een complexe opbouw met verschillende lagen en laagjes. De onderste laag is de drager: een opgespannen doek of een houten paneel. Daarop bracht de schilder eerst een plamuurlaag aan. Daarop maakte hij met houtskool een tekening van de compositie die hij had uitgedacht.

Pas daarna begon het echte schilderen met olieverf. Ook dat ging in lagen: eerst een onderschildering met weinig kleur, en daarna allemaal dunne halfdoorzichtige verflaagjes. Langzaam ontstond een schilderij met levensechte diepe kleuren. Ten slotte bracht hij een doorzichtige vernislaag op de schildering aan als bescherming tegen stof en vuil.

Een schilderij doorlichten

Voor elke laag bestaan er andere onderzoekstechnieken. De vernislaag wordt getest met uv-straling. Die laat het vernis oplichten, zoals een bankbiljet oplicht onder een uv-lamp. Daarbij zet het vernis de opvallende uv-straling om in zichtbaar licht. De natuurlijke vernissen uit vroegere eeuwen stralen dan groengeel licht uit. Moderne synthetische vernissen lichten op in wit of paars.

Voor de dieper gelegen verflagen gebruikt de onderzoeker röntgenstraling. Elke verflaag bestaat uit kleine korreltjes pigment (kleurstof) in een bindmiddel, zoals lijnolie. Pigmenten met zware metalen speelden vroeger een belangrijke rol in de schilderkunst. De oude meesters gebruikten onder andere loodwit (een loodverbinding), lood-tingeel (een loodverbinding met tin) en vermiljoen (een rode verbinding van kwik en zwavel). Deze pigmenten zijn erg





giftig. Nu worden ze weinig of niet meer gebruikt, maar eens waren ze in elk schildersatelier te vinden. De meeste pigmenten laten röntgenstraling ongehinderd passeren, maar dat geldt niet voor pigmenten die zware metalen bevatten. Omdat ze röntgenstraling absorberen, zijn ze goed zichtbaar op een röntgenfoto.

Loodwit was een belangrijk bestanddeel van de onderschildering: de eerste globale versie van een olieverfschilderij die als basis diende voor de volgende lagen. Je kunt zo'n onderschildering dankzij het absorberende loodwit goed onderscheiden op een röntgenfoto. De onderschildering moet in grote lijnen overeenkomen met het schilderij dat je ziet. Als de onderschildering er heel anders uitziet, is dat een aanwijzing voor fraude.

Reflecties in infrarood

De schilder maakte daarna op de onderschildering met houtskool een tekening. Houtskool bestaat uit koolstof en dat laat röntgenstraling gewoon door. De tekening kun je daarom met röntgenstraling niet zichtbaar maken. Dat kan wel met ir-straling.

De ir-straling passeert de verflagen van het schilderij, wordt weerkaatst door de plamuurlaag en beweegt dan weer terug naar buiten. Op plaatsen waar houtskool is aangebracht, gaat het anders. Houtskool is zwart en absorbeert de ir-straling. De houtskoollijnen van de tekening reflecteren de ir-straling daardoor niet of nauwelijks. Een infraroodcamera vangt de gereflecteerde straling op en zet die om in een zwart-witbeeld. Daarop is de houtskooltekening verrassend duidelijk te zien. Onderzoekers gaan dan na of die tekening van de meesterschilder zelf is. Als dat zo is, gaat het hoogstwaarschijnlijk om een origineel werk. Als dat niet zo is, is het schilderij waarschijnlijk gemaakt door iemand anders.



De koolstof-14 methode

Onder invloed van kosmische straling uit het heelal wordt er boven in de atmosfeer steeds nieuw koolstof-14 aangemaakt. Hierdoor blijft de verhouding tussen het stabiele koolstof-12 en het radioactieve koolstof-14 in de atmosfeer min of meer constant.
Een plant neemt zolang hij leeft koolstof op uit de atmosfeer. Hierdoor komen beide isotopen in de plant voor, in dezelfde verhouding als in de atmosfeer. Dat verandert als de plant wordt geoogst; een dode plant neemt geen koolstof-14 meer op.
Door natuurlijk verval neemt de hoeveelheid koolstof-14 daarna steeds verder af. Door de verhouding tussen het resterende koolstof-14 en koolstof-12 te meten, kunnen onderzoekers de ouderdom van het materiaal bepalen.

Dateren met koolstof-14

In schilderijen zitten altijd organische materialen, zoals het schilderslinnen of het hout waarop werd geschilderd. Deze materialen zijn van plantaardige oorsprong en kunnen daarom worden gedateerd met de koolstof-14 methode. Door te kijken naar de hoeveelheid radioactief koolstof-14 in het materiaal, kan de ouderdom ervan vrij nauwkeurig worden bepaald.

Als de koolstof-14 methode een veel te jonge leeftijd oplevert, weet je dat het om een vervalsing moet gaan. Het omgekeerde gaat niet op. Een vervalser kan een oud maar waardeloos schilderij kopen en zijn vervalsing daar eenvoudigweg overheen schilderen. Om uitsluitsel te geven over de echtheid van een schilderij is naast koolstof-14 datering altijd aanvullend onderzoek nodig.





Dat aanvullend onderzoek is de sleutel. Als een schilderij een vervalsing is, zijn er altijd wel dingen die niet kloppen. Maar je weet van tevoren niet waar je precies naar moet kijken. Het is de kunst om geduldig te blijven zoeken – totdat je die ene misser vindt die het bedrog ontmaskert.

Opgaven

1 Het vernis op een schilderij gaat fluoresceren als er uv-straling op valt. Het vernis zendt dan ook zelf straling uit.

a Tussen welke grenzen ligt de golflengte van de uitgezonden straling? Waaruit leid je dat af?

b Leg uit waarom het niet verstandig is om een schilderij langdurig aan sterke uv-straling bloot te stellen.

2 Bij het onderzoeken van oude schilderijen worden vaak röntgenfoto's gemaakt. Het schilderij wordt daarvoor plat neergelegd, met de röntgenbron er een eindje boven en de stralingsdetector er vlak onder.

a Maakt het uit of de onderzoeker het schilderij 'met de goede kant omhoog' legt of 'met de goede kant naar beneden'? Leg uit.

b Hoe komt het dat de onderschildering op een röntgenfoto vaak goed te zien is, terwijl de verflagen daarboven vrijwel onzichtbaar zijn?

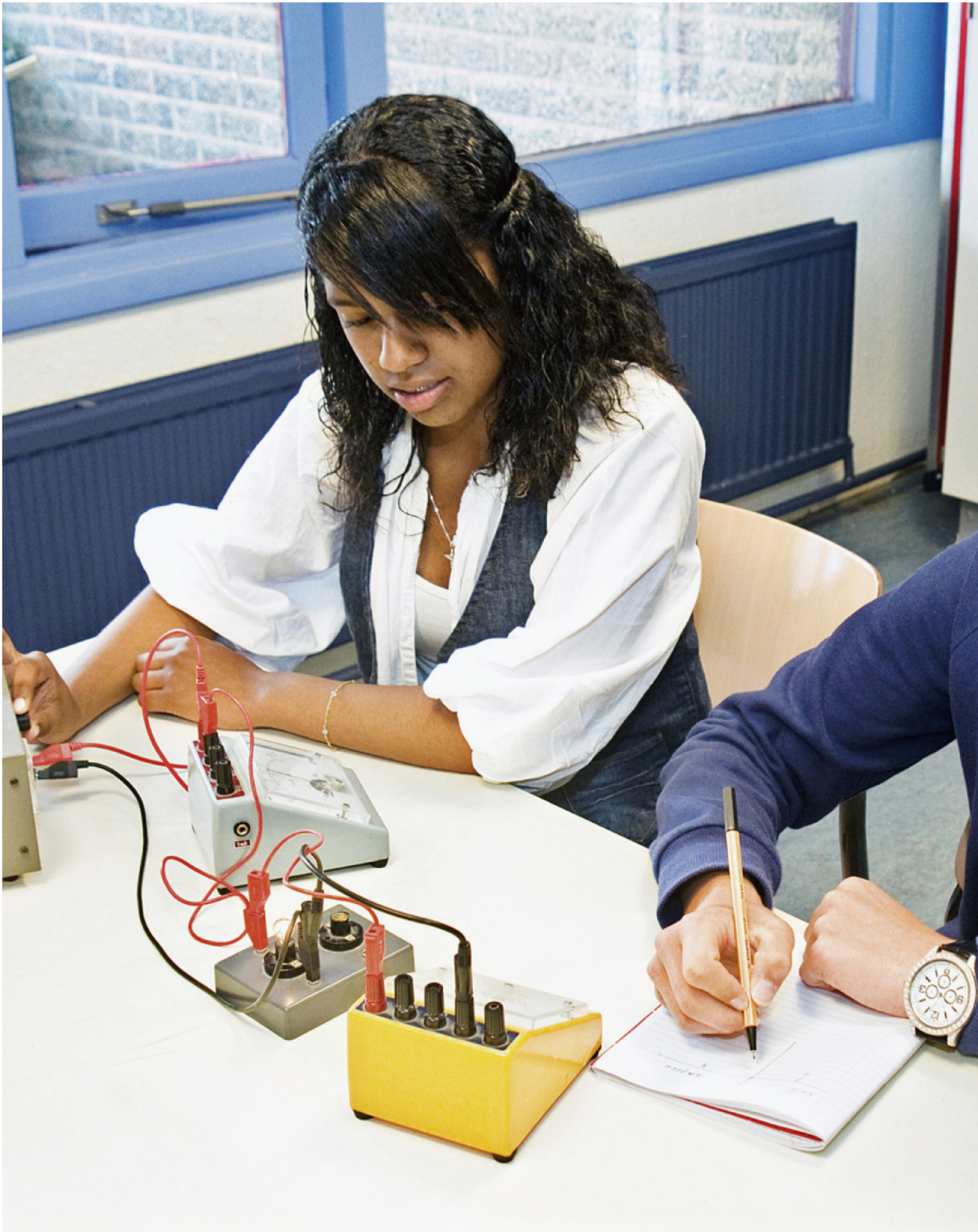
c Kun je op een röntgenfoto ook zien in welke laag een bepaald pigment gebruikt is? Leg uit waarom wel of waarom niet.

3 Zoek op internet een *carbon dating calculator*.

a Het doek van een schilderij bevat nog 95% van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14. Hoe oud is het linnen dus?

b Een bekend schilderij van de Italiaanse schilder Giotto is circa 1310 geschilderd op een houten paneel. Hoeveel van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14 in het hout is er nu op zijn hoogst nog over?

c Waarom staat er in vraag b: 'op zijn hoogst'? Leg uit.





Vaardig-heden

Gegevens verzamelen en verwerken

Bij het vak natuurkunde gaat het zowel om kennis (wat je weet) als om vaardigheden (wat je kunt). Bij die vaardigheden horen onder andere het bouwen van proefopstellingen, het verzamelen van meetgegevens, het uitvoeren van berekeningen en het tekenen van grafieken. In dit deel van het boek vind je een overzicht.

1 Onderzoek doen

Het doen van onderzoek begint met een onderzoeksvraag. Je maakt een plan om achter het antwoord te komen, en voert dat plan daarna zelf uit. Daarbij ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Bedenk een onderzoeksvraag.**
  Soms staat de onderzoeksvraag al in de opdracht vermeld. Dan hoef je er alleen maar over na te denken hoe je die vraag kunt beantwoorden. Soms wordt van jou verwacht dat je zelf een onderzoeksvraag bedenkt. Wees daarbij niet te gauw tevreden: je moet wel een idee hebben hoe je jouw vraag kunt beantwoorden. Formuleer je onderzoeksvraag zo precies mogelijk, voor je verdergaat.

- **Stap 2: Maak een werkplan.**
  In je werkplan schrijf je op:
  - welke grootheden je gaat meten;
  - welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
  - welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
  - welke metingen je gaat uitvoeren;
  - (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

- **Stap 3: Uitvoeren en uitwerken.**
  Je bouwt de proefopstelling en voert daarmee de geplande metingen uit. Na elke meting noteer je de meetwaarden overzichtelijk, bijvoorbeeld in een tabel. Na afloop werk je de metingen verder uit, bijvoorbeeld door een grafiek te tekenen of door berekeningen te maken. Raadpleeg daarvoor zo nodig de andere vaardigheden.

- **Stap 4: Conclusies trekken.**
  Als alles goed gegaan is, kun je nu conclusies trekken. Die conclusies vormen samen het antwoord op je onderzoeksvraag. Een conclusie is geen samenvatting van de meetresultaten, maar iets wat je uit die meetresultaten afleidt (concludeert). Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

- **Stap 5: Een verslag maken.**
  Tot slot maak je een verslag van je onderzoek. Zie vaardigheid 10.

2 Werken met grootheden en eenheden

Een grootheid is iets wat je kunt meten. Voorbeelden van grootheden zijn massa, kracht, weerstand en tijd. Om een grootheid te kunnen meten, heb je een eenheid nodig. Je meet de massa in kilogram, de kracht in newton, de weerstand in ohm en de tijd in seconden.

Vaak past de grootte van een eenheid niet goed bij de grootte van wat je wilt meten. In zo'n geval kun je een voorvoegsel voor de eenheid zetten. In plaats van "De dikte is 0,0003 meter" schrijf je: "De dikte is 0,3 mm."

Je kunt een voorvoegsel altijd vervangen door een macht van 10 (en omgekeerd). In plaats van "Door de leidingen te isoleren, bespaar je 4,8 GJ aan warmte" kun je ook schrijven: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je $4{,}8 \cdot 10^9$ J aan warmte." Zie tabel 1.

▼ **tabel 1** voorvoegsels en hun betekenis

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
giga	G	10^9	1 GJ = 10^9 J
mega	M	10^6	1 MW = 10^6 W
kilo	k	10^3	1 kN = 1000 N
hecto	h	10^2	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10^1	1 dam = 10 m
deci	d	10^{-1}	1 dL = 0,1 L
centi	c	10^{-2}	1 cm = 0,01 m
milli	m	10^{-3}	1 mΩ = 0,001 Ω
micro	µ	10^{-6}	1 µg = 10^{-6} g
nano	n	10^{-9}	1 ns = 10^{-9} s

Soms zijn er voor één grootheid verschillende eenheden in gebruik. Denk aan temperatuur (°C en K) of aan elektrische energie (J en kWh). In dat geval is het soms nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere.

Voorbeeldopgave 1
Volgens een website is de gemiddelde temperatuur op Mars 210 K. Hoeveel graden Celsius is dat?

T (in K) = t (in °C) + 273

$210 = t + 273 \rightarrow t = 210 - 273 = -63$ °C

Voorbeeldopgave 2
Volgens een consumentenorganisatie verbruikt een gemiddeld Nederlands gezin 3500 kWh elektrische energie per jaar.
Hoeveel is dat in joule?

1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J

3500 kWh = $3500 \times 3{,}6 \cdot 10^6$ J = $1{,}26 \cdot 10^{10}$ J (of 12,6 GJ)

3 Werken met machten van 10

Bij het vak natuurkunde krijg je regelmatig te maken met getallen die erg groot of juist erg klein zijn. Er is een handige manier bedacht om dat soort getallen op te schrijven. Voor grote getallen gebruik je positieve machten van 10. Voor kleine getallen gebruik je negatieve machten van 10.

positieve machten
$10^1 = 10$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$
enzovoort

negatieve machten
$10^{-1} = 1/10 = 0{,}1$
$10^{-2} = 1/100 = 0{,}01$
$10^{-3} = 1/1000 = 0{,}001$
enzovoort

Als je dat wilt, kun je een macht van 10 vervangen door een voorvoegsel. In plaats van “Het vermogen van de centrale is $4{,}75 \cdot 10^8$ W” kun je ook schrijven: “Het vermogen van de centrale is 475 MW.” Reken maar na: $4{,}75 \cdot 10^8$ W = $475 \cdot 10^6$ W = 475 MW (M = 10^6).

Voorbeeldopgave 3
De kerncentrale in Gravelines (Frankrijk) heeft een elektrisch vermogen van 5460 MW. In de praktijk wordt maar 75% van dit vermogen ook echt geleverd. Gemiddeld is 25% van het vermogen niet beschikbaar, vooral vanwege onderhoud.
Bereken hoeveel kWh elektrische energie de kerncentrale in één jaar levert.

75% van 5460 MW = 4095 MW
P = 4095 MW = $4095 \cdot 10^6$ W = $4095 \cdot 10^3$ kW
$t = 365 \times 24 = 8760$ h

$E = P \cdot t$
$= 4095 \cdot 10^3 \times 8760$
$= 3{,}5872 \cdot 10^{10}$ kWh = $36 \cdot 10^9$ kWh

De centrale produceert elk jaar 36 miljard kWh elektrische energie.

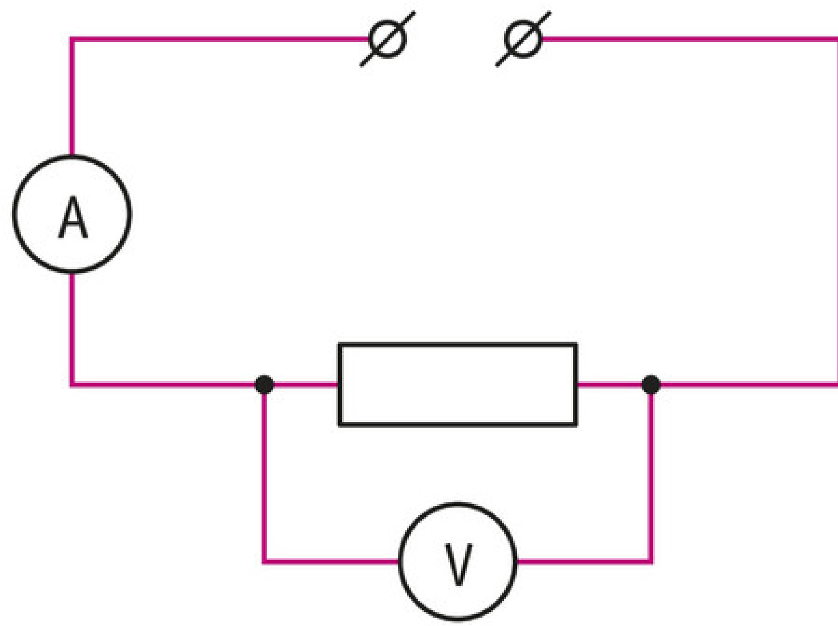
▼ **tabel 2** voorbeelden van machten van 10 uit de natuur

	lengte (m)	massa (kg)	tijd (s)
10^{-10}	diameter atoom		
10^{-9}			
10^{-8}	diameter kleinste virus		
10^{-7}		massa zandkorrel	
10^{-6}	diameter bacterie	massa regendruppel	
10^{-5}	diameter rode bloedcel		
10^{-4}	dikte papier	massa vlieg	duur bliksemflits
10^{-3}			
10^{-2}	dikte vinger	massa muis	
10^{-1}			reactietijd mens
10^{0}	lengte mens	massa pak suiker	tijd tussen twee hartslagen
10^{1}			record 100 m hardlopen
10^{2}	lengte supertanker	massa mens	
10^{3}		massa auto	één kwartier
10^{4}	maximale diepte oceaan		
10^{5}		massa jumbojet	één dag
10^{6}	diameter maan		
10^{7}	diameter aarde		één jaar
10^{8}		massa supertanker	
10^{9}			levensduur mens
10^{10}			
10^{11}	afstand zon-aarde		ouderdom piramides
10^{12}			

4 Werken met meetinstrumenten

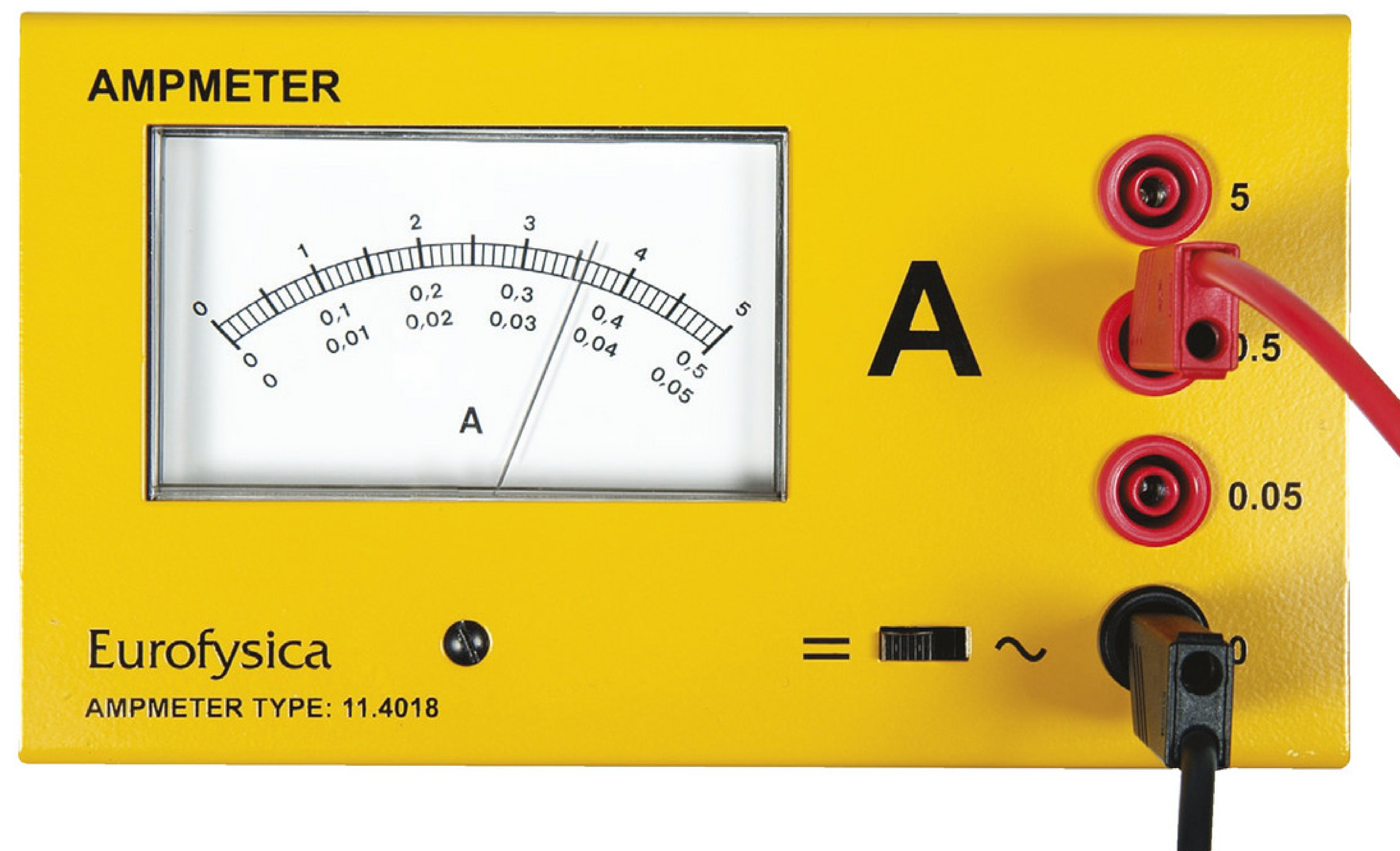
Bij het vak natuurkunde werk je met allerlei meetinstrumenten. Om een goede meting uit te kunnen voeren, ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Bepaal welk(e) meetinstrument(en) je nodig hebt.**
  Bij een onderzoek wil je een vraag beantwoorden zoals:
  Klopt het elektrisch vermogen dat op dit apparaat vermeld staat?
  Je weet dat je het elektrisch vermogen kunt bepalen met de formule $P = U \cdot I$. Dat betekent dat je de spanning (U) en de stroomsterkte (I) moet meten. Je heb dus twee meetinstrumenten nodig: een spanningsmeter en een stroommeter.



▲ **figuur 1**
Zo sluit je een spanningsmeter en een stroommeter aan.

- **Stap 2: Sluit het meetinstrument aan.**
  Stroom- en spanningsmeters moeten correct aangesloten worden: een stroommeter in serie, een spanningsmeter parallel met het apparaat (figuur 1).
  Bij gelijkstroom en -spanning is ook de stroomrichting van belang.
  Je moet de plus-kant van de meter verbinden met de pluspool van de spanningsbron, en de min-kant met de minpool. Meestal is de plus-kant een rood busje, en de min-kant een zwart busje (figuur 2).



▶ **figuur 2**
Hoe groot is de stroomsterkte?

- **Stap 3: Kies het juiste meetbereik.**
  Stroom- en spanningsmeters hebben vaak meer dan één meetbereik. Je kunt het meetbereik dat je moet gebruiken, als volgt vinden:
  – Maak een proefmeting met het grootste meetbereik.
  – Kijk hoe groot de stroomsterkte of de spanning ongeveer is.
  – Kies het kleinste meetbereik waarbij de meter nog afgelezen kan worden.
  Hoe kleiner het gebruikte meetbereik, des te nauwkeuriger is het meetresultaat.

- **Stap 4: Lees het meetinstrument af.**
  Veel meetinstrumenten hebben een schaalverdeling. Bij het aflezen van zo'n meetinstrument bepaal je eerst hoeveel elk streepje waard is. Daarna lees je zo nauwkeurig mogelijk de meetwaarde af.
  Bij de stroommeter in figuur 2 redeneer je bijvoorbeeld als volgt:
  – Ik heb het meetbereik van 0 tot 0,5 A gebruikt.
  – Tussen 0,3 en 0,4 A zijn er tien tussenruimtes.
  – Elk streepje is dus 0,1/10 = 0,01 A waard.
  – De wijzer staat op het zesde streepje.
  – De stroomsterkte is dus 0,36 A.

5 Werken met formules

Bij het vak natuurkunde moet je regelmatig berekeningen maken. Ga daarbij stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Lees de opgave.**
  Lees de opgave en schat in welke buurt de uitkomst zal liggen. In voorbeeldopgave 4 (op blz. 326) wordt gevraagd hoelang een waterkoker erover doet om een kop water aan de kook te brengen. Je weet dat je dan enkele tientallen seconden tot een minuut moet wachten. Een paar seconden is duidelijk te weinig en vijf minuten is duidelijk te veel.

- **Stap 2: Noteer de gegevens.**
  Vertaal alle gegevens in letters en cijfers, en noteer ze. Een gegeven zoals '44 kJ warmte' noteer je bijvoorbeeld als: $E = 44$ kJ $= 4{,}4 \cdot 10^4$ J.

- **Stap 3: Schrijf de formule(s) op.**
  Sommige formules kun je op verschillende manieren opschrijven. Neem de vorm waarin de te berekenen grootheid voor het is-teken (=) staat. Je schrijft dus:

  – $E = P \cdot t$ als je de hoeveelheid energie (E) wilt berekenen;

  – $P = \dfrac{E}{t}$ als je het vermogen (P) wilt berekenen;

  – $t = \dfrac{E}{P}$ als je de benodigde tijd (t) wilt berekenen.

- **Stap 4: Vul de gegevens in.**

- **Stap 5: Werk de berekening uit.**

- **Stap 6: Noteer de uitkomst.**
  De uitkomst is een getal + een eenheid. De eenheid moet kloppen met de gegevens: als je het vermogen invult in watt (W) en de tijd in seconden (s), vind je de hoeveelheid energie in joule (J). Zie ook vaardigheid 6 over het afronden van de uitkomst.

- **Stap 7: Controleer de uitkomst.**
  Vergelijk de uitkomst met de schatting die je in het begin maakte. Ga ook na of je geen reken- of overschrijffouten hebt gemaakt.

Voorbeeldopgave 4
Om het water voor een kop thee aan de kook te brengen, is 44 kJ warmte nodig.
Hoelang doet een waterkoker van 1800 W erover om deze hoeveelheid warmte te leveren?

gegevens $E = 44\ \text{kJ} = 4{,}4 \cdot 10^4\ \text{J}$
$P = 1800\ \text{W}$

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \dfrac{E}{P} = \dfrac{4{,}4 \cdot 10^4}{1800} = 24\ \text{s}$

6 Uitkomsten afronden

De uitkomst van een berekening kan niet nauwkeuriger zijn dan de gegevens die je hebt gebruikt. Daarom worden uitkomsten van berekeningen vaak afgerond. Anders lijkt het of de uitkomst heel nauwkeurig is, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is.

De uitkomst van een vermenigvuldiging of deling rond je als volgt af:

- Het antwoord moet even veel cijfers hebben als het getal in de opgave met de minste significante cijfers. Significante cijfers zijn de cijfers die de nauwkeurigheid van een getal bepalen. Je lengte staat bijvoorbeeld op je identiteitsbewijs in drie significante cijfers vermeld: 1,76 m bijvoorbeeld of 1,90 m.

- Nullen aan het begin van een getal tellen niet mee als je het aantal significante cijfers bepaalt: 25 cm heeft evenveel significante cijfers als 0,25 m. Nog enkele voorbeelden:
  – 2,0 heeft twee significante cijfers en 0,2 heeft maar één significant cijfer;
  – 0,22 en 0,022 hebben allebei twee significante cijfers;
  – 2,02 heeft drie significante cijfers.

- Om correct af te ronden, kijk je naar het eerste cijfer dat je moet schrappen. Als dat een 5 of meer is, moet je ‘naar boven afronden’. Dat betekent dat je het cijfer daarvóór met 1 moet verhogen. Is het cijfer dat je schrapt een 4 of lager, dan hoef je het cijfer daarvoor niet te verhogen.

Als je het antwoord in drie cijfers moet geven:
- rond je 2,345 af op 2,35;
- rond je 2,354 ook af op 2,35;
- rond je 2,395 af op 2,40;
- rond je 2,404 ook af op 2,40;
- enzovoort.

Voorbeeldopgave 5
Als er een spanning van 134 mV over een weerstand staat, is de stroomsterkte 1,9 mA.
Bereken de weerstand.

gegevens $U = 134\ \text{mV} = 0{,}134\ \text{V}$
$I = 1{,}9\ \text{mA} = 0{,}0019\ \text{A}$

gevraagd $R = ?$

uitwerking $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{0{,}134}{0{,}0019} = 71\ \Omega$

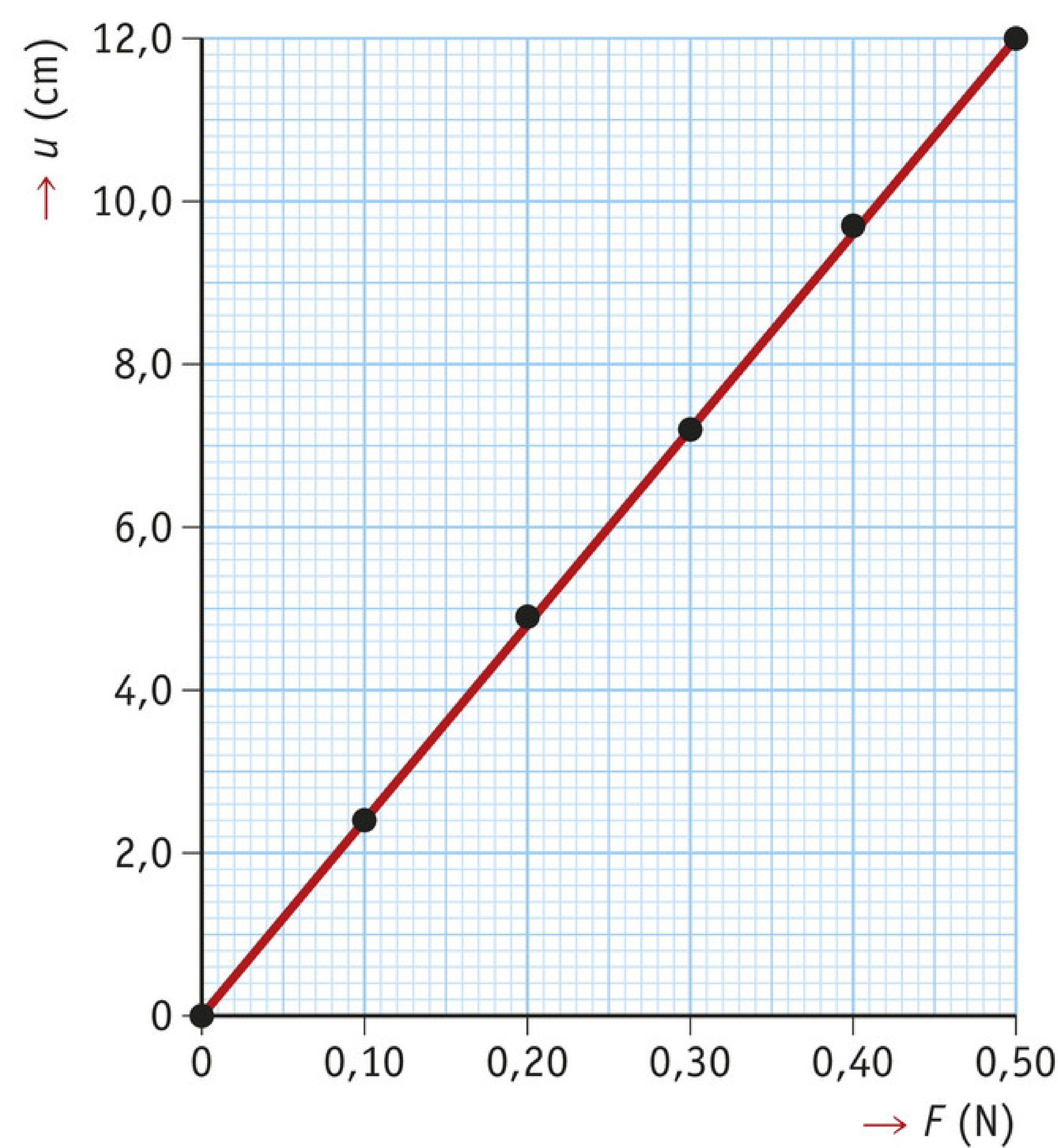
Toelichting
Als je de berekening uitvoert op een rekenmachine, krijg je als uitkomst 70,526316. Het gegeven $I = 1{,}9$ mA heeft het kleinste aantal significante cijfers: twee. Je geeft het antwoord daarom ook in twee significante cijfers. Dus schrap je alle getallen na 70. Omdat het eerste cijfer dat je schrapt een 5 is, verhoog je de 0 daarvoor met 1. De correct afgeronde uitkomst is dus 71 Ω.

7 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden.
Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Deze vraag gaat over het verband tussen de kracht en de uitrekking.

Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je hangt gewichtjes aan de veer en meet elke keer hoe ver de veer daardoor uitrekt. De meetresultaten noteer je in een tabel. Na afloop geef je de meetresultaten in de tabel weer in een grafiek.

Zo'n grafiek maak je als volgt (figuur 3):



▶ **figuur 3**
een grafiek van de uitrekking tegen de kracht

- **Stap 1: Teken een assenstelsel.**
- **Stap 2: Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
  Bijvoorbeeld: → *F* (N) en → *u* (cm).
- **Stap 3: Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
  Zorg ervoor dat de grootste getallen er nog op passen.
- **Stap 4: Teken de meetresultaten in als punten.**
- **Stap 5: Teken een rechte lijn als de punten (ongeveer) op een rechte lijn liggen.**
  Teken een vloeiende kromme, als dat niet zo is. Laat die lijn of kromme zo goed mogelijk bij de punten aansluiten, maar verbind de punten nooit één voor één met elkaar. Het geeft niet dat de rechte lijn of de kromme niet precies door alle meetpunten loopt.

8 Verbanden meten

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Bij deze vraag zijn de grootheden de kracht (op de veer) en de uitrekking (van de veer).

Hoe meet je nu zo'n verband? Een paar aanwijzingen:

- **Stap 1: Maak eerst een tabel waarin je de meetresultaten kunt noteren.**
  Noteer links de kracht en rechts de uitrekking.

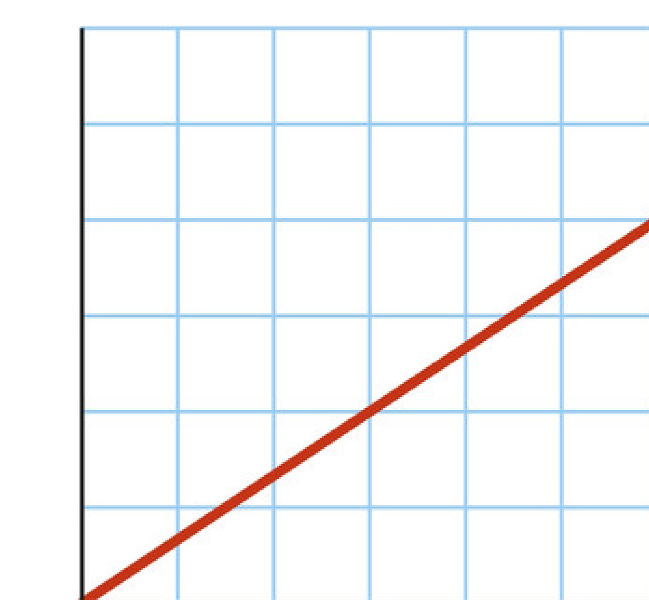
- **Stap 2: Kies voor de grootheid in de linker kolom een serie 'mooie' getallen.**
  Als je gewichtjes van 10 gram aan de spiraalveer hangt, krijgt de kracht bijvoorbeeld de volgende waarden (in N):
  0 0,1 0,2 0,3 0,4 enzovoort.
  Dat maakt het gemakkelijker om straks een grafiek te tekenen.

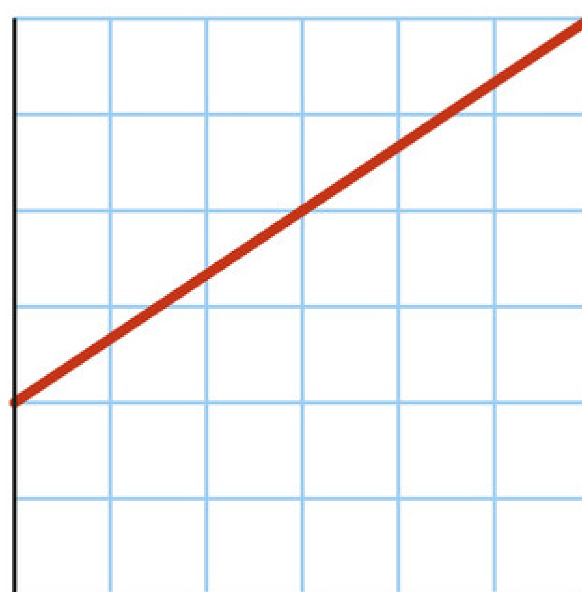
- **Stap 3: Noteer de meetwaarden in de tabel: links de kracht (in N), rechts de uitrekking (in cm).**

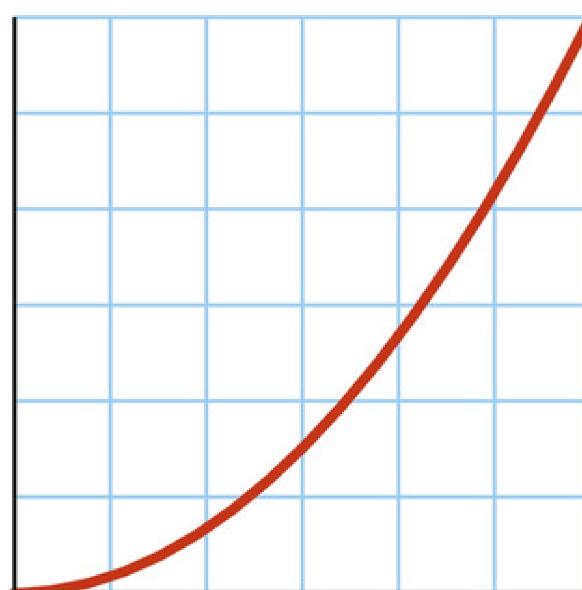
- **Stap 4: Verwerk je metingen tot een grafiek.**
  In vaardigheid 7 kun je lezen hoe dat moet. Zet de kracht langs de horizontale as en de uitrekking langs de verticale as.

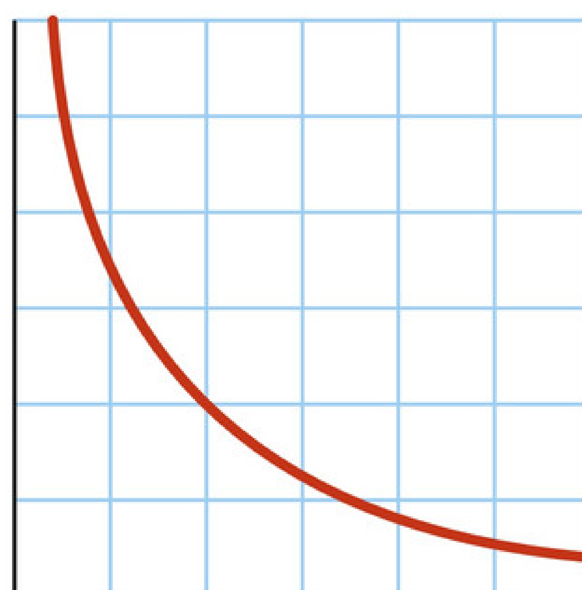
- **Stap 5: Vergelijk jouw grafiek met figuur 4.**
  Daarin zie je hoe een grafiek eruitziet:
  a als het verband recht evenredig is;
  b als het verband lineair is;
  c als het verband kwadratisch is;
  d als het verband omgekeerd evenredig is.

Het (u,F)-diagram van een spiraalveer is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 3). Daaraan zie je dat het verband tussen de uitrekking en de kracht bij een spiraalveer recht evenredig is.


ⓐ recht evenredig


ⓑ lineair


ⓒ kwadratisch


ⓓ omgekeerd evenredig

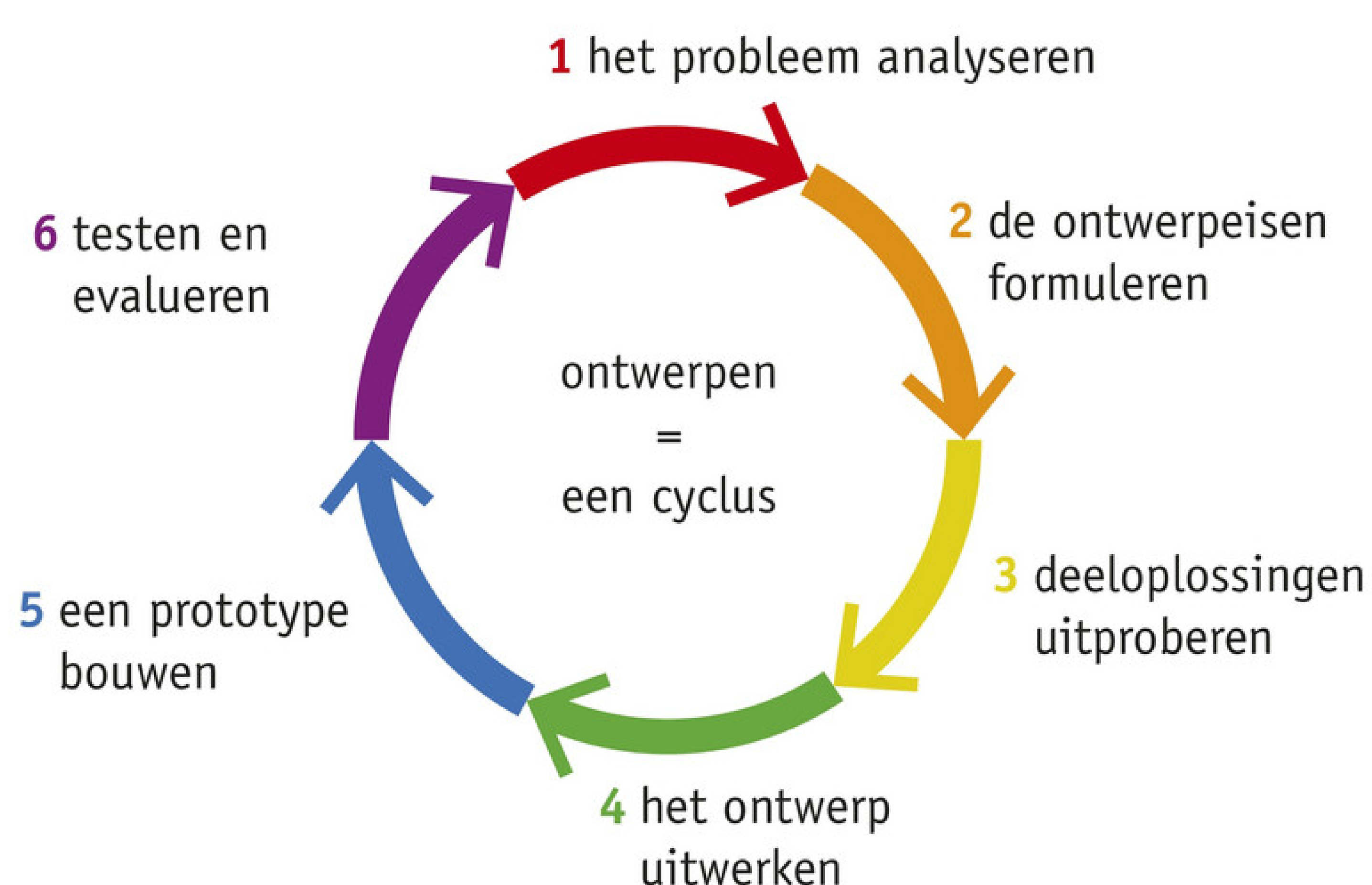
◀ **figuur 4**
vier soorten verbanden

9 Een ontwerp maken

Het maken van een ontwerp begint bij een probleem en eindigt met een goed werkende oplossing. Om bij zo'n oplossing uit te komen, ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Het probleem analyseren.**
  Om te beginnen ga je na wat nu precies het probleem is. Je vraagt aan de opdrachtgever hoe de situatie nu is en hoe die moet worden. Tot slot beschrijf je het probleem zo concreet mogelijk.
- **Stap 2: De ontwerpeisen formuleren.**
  Je maakt een lijst met eisen waaraan de oplossing moet voldoen. Je let er goed op dat die eisen duidelijk en goed testbaar zijn. Je moet van elke eis kunnen nagaan of eraan wordt voldaan.
- **Stap 3: Deeloplossingen uitproberen.**
  Meestal ontstaat een ontwerp niet in één keer. Je bedenkt eerst deeloplossingen voor deelproblemen en test of die goed werken. Op die manier houd je het ontwerpproces overzichtelijk.
- **Stap 4: Het ontwerp uitwerken.**
  Als je voldoende informatie hebt over deeloplossingen, werk je een ontwerp uit dat aan alle ontwerpeisen voldoet. Je beschrijft het ontwerp duidelijk en volledig, met tekst en afbeeldingen.
- **Stap 5: Een prototype bouwen.**
  Je bouwt een prototype of een model waarmee je het ontwerp kunt testen: een min of meer geïmproviseerde, maar volledig functionele versie van het ontwerp. Dat kan op ware grootte of op schaal.
- **Stap 6: Testen en evalueren.**
  Ten slotte ga je testen of het ontwerp in de praktijk goed werkt. Je gaat zorgvuldig na of het aan alle ontwerpeisen voldoet. Als je problemen tegenkomt, zoek je daar een oplossing voor die je daarna ook weer uittest.

Vaak worden deze zes stappen meerdere malen geheel of gedeeltelijk doorlopen. Daarom worden ze ook wel aangeduid als de ontwerpcyclus (figuur 5).



figuur 5
de ontwerpcyclus

10 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij geweest is, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd.

Deel je verslag als volgt in:

- **Titelpagina**
  Hierop vermeld je: de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in het onderzoeksgroepje, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

- **§ 1 Onderzoeksvraag**
  In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilde beantwoorden.

- **§ 2 Werkplan**
  Hierin staat:
  a welke grootheden je hebt gemeten;
  b welke practicumspullen je hebt gebruikt;
  c wat voor opstelling je hebt gemaakt (maak een tekening);
  d wat je precies hebt gedaan:
    - Welke metingen heb je uitgevoerd?
    - Hoe heb je de meetresultaten verwerkt (tekenen/berekenen)?
    - Welke berekeningen heb je uitgevoerd (inclusief formules)?

- **§ 3 Onderzoeksresultaten**
  Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

- **§ 4 Conclusies**
  Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag. Ook schrijf je op wat er beter had gekund.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet die inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren. Een aantal aanwijzingen:
- Gebruik papier op A4-formaat.
- Zorg ervoor dat er ruime marges overblijven: onder en boven, links en rechts.
- Kies een goed leesbaar lettertype, met een goede lettergrootte.
- Zet een vet kopje boven elke paragraaf. Sla daarna een regel over.
- Zorg voor nette tekeningen, tabellen en grafieken. Zet er een nummer bij zodat je ernaar kunt verwijzen.

Register

Colofon

Auteurs:
F. Alkemade
L. Lenders
F. Molin
R. Tromp

Eindredactie:
P. Verhagen

Met medewerking van:
Th. Smits

Ontwerp:
Uitgeverij Malmberg, Den Bosch

Ontwerp omslag:
Buro De Kuijper in samenwerking met
Uitgeverij Malmberg

Foto omslag:
Shutterstock

Openingsbeelden binnenwerk:
123.rf.com, Shutterstock, Istock, ANP foto, Rijswijk

Beeldverwerving:
B en U International Picture Service, Amsterdam

Illustraties:
Yde Bouma, Leusden
Marcel Braat/Zanzara Illustrations, Great Yarmouth
Erik Eshuis, Groningen

Opmaak:
Nieuwe Stijl, Den Haag

ISBN: 978 94 020 5822 2
Vierde editie, derde oplage

MALMBERG

Foto's:
AAB.com, Fujian, China; Aeolus Art/Nationale Beeldbank; AFP Photo/Files; ANP Photo, Rijswijk; AP/Reporters, Haarlem; Jan Boeve/Hollandse Hoogte; Bon Appetit/Alamy Images; Adrian Bradshaw/EPA/ANP; CNAM Paris/Lauros/Giraudon/Bridgeman Art Library, Londen, GB; Creola VZW; Daimler AG, Stuttgart, DL; Domunder.nl, Utrecht; Esa, Noordwijk; Fraunhofer ISE, Breisgau; Lisa Gagne/iStockphoto; Getty Images, Amsterdam; Patrik Giardino/Corbis; Go-green.nl, Leeuwarden; Hannay.com, New York, VS; Maarten Hartman/Hollandse Hoogte; Vincent van den Hoogen/Hollandse Hoogte; Image Select, Wassenaar; infrarec.com, Reno, VS; iStock, New York, VS; Itani101/Alamy; Johnson Space Center, Ton Koene/ANP Photo; Kleinehumboldtgalerie.de, Berlijn, DL; Michael Kooren/Hollandse Hoogte; Lincolnelectric.com, Cleveland, VS; Robert Markowitz/NASA; Vincent Mentzel/Hollandse Hoogte; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam; NASA; Nasa/Corbis; Parr Instrument Company, Moline IL, USA; Nationale Beeldbank, Amsterdam; Nissan.nl; Tim Pope/The Dow Chemical Company; Roger Ressmeyer/Corbis; Reuters, New York, VS; RGV Holding BV, Arnhem; Paul van Riel/Hollandse Hoogte; David Rozing/Hollandse Hoogte; Pim Rusch Fotografie, Leiden; Scheepvaartmuseum, Amsterdam; Ruben Schipper/ANP Photo; Science Photo Library/ANP Photo, Rijswijk; Peter J. Segaar - www.polderpv.nl; Kathryn Sheran/ChemMatters; Shutterstock, Amsterdam; SP, Amsterdam; Picture Aliance, Frankfurt; Peter Tamminga, Zwolle; TenneT TSO BV, Arnhem; Gerard Til/Hollandse Hoogte; Traser.com, Niederwangen, CH; Michael Urban/ANP Photo; Goos van der Veen/Hollandse Hoogte; Vidiphoto/ANP Photo, Rijswijk; Arthur Vriend/Hollandse Hoogte; Tim De Waele, www.tdwsport.com, Ersange, Luxemburg; Herman Wouters/Hollandse Hoogte; Ziut.nl, Arnhem.



- Dit boek is van jou.
- Je mag in dit boek schrijven en aantekeningen maken.
- Je hebt ook toegang tot de online leeromgeving.

AUTEURS:
F. Alkemade
L. Lenders
F. Molin
R. Tromp

EINDREDACTIE:
P. Verhagen

MET MEDEWERKING VAN:
Th. Smits

ISBN 978 94 020 5822 2



589220

MALMBERG